



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Ненад Саулић

**ОШТЕЋЕЊА НА ВОЗИЛУ КАО
ИНДИКАТОР СУДАРНИХ БРЗИНА КОД
НАЛЕТА НА ПЕШАКА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2021.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :											
Идентификациони број, ИБР :											
Тип документације, ТД :	Монографска документација										
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани материјал										
Врста рада, ВР :	Докторска дисертација										
Аутор, АУ :	маст. инж. саобр. Ненад Саулић										
Ментор, МН :	Проф. др Зоран Папић, ванредни професор										
Наслов рада, НР :	Оштећење на возилу као индикатор сударних брзина код налета на пешака										
Језик публикације, ЈП :	Српски										
Језик извода, ЈИ :	Српски/Енглески										
Земља публикација, ЗП :	Република Србија										
Уже географско подручје, УГП :	АП Војводина										
Година, ГО :	2021.										
Издавач, ИЗ :	Ауторски репринт										
Место и адреса, МА :	Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад										
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/цитата/табела/слика/графика/прилога)	10 поглавља/139 страна/91 цитата/61 табела/104 слике/3 прилога										
Научна област, НО :	Саобраћајно инжењерство										
Научна дисциплина, НД :	Планирање, регулисање и безбедност саобраћаја										
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Саобраћајне незгоде са пешацима, даљина одбачаја, оштећење возила, налетна брзина возила										
УДК											
Чува се, ЧУ :	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад										
Важна напомена, ВН :											
Извод, ИЗ :	<p>Предмет истраживања у оквиру ове докторске дисертације су саобраћајне незгоде типа налет возила на пешака. Брзина возила и даљина одбачаја пешака су основни параметри у анализи саобраћајних незгода овог типа. Досадашња истраживања су показала да постоји јака корелативна веза између ова два параметра. Сви постојећи модели за предикцију налетне брзине возила се базирају на познавању даљине одбачаја пешака. Међутим, даљина одбачаја пешака често није позната због тога што се не може поуздано утврдити позиција примарног контакта или зауставна позиција тела пешака након налета. Код овог типа саобраћајних незгода, трагови на пешацима се манифестују као повреде, а на возилима остају контактни трагови и оштећења. Светска здравствена организација је развила A/S вредносну скалу за кодирање повреда учесника у саобраћајним незгодама. По угледу на A/S скалу, један од задатака у оквиру ове дисертације јесте формирање ординалне скале, којом ће се кодирати оштећења на возилу.</p> <p>Циљ докторске дисертације јесте да се успостави јасна корелација између оштећења на возилу и налетне брзине на пешака и утврди зависност између скалираног интензитета оштећења на возилу и даљине одбачаја тела пешака, односно налетне брзине возила.</p>										
Датум прихватања теме, ДП :	28.12.2020.										
Датум одбране, ДО :											
Чланови комисије, КО :	<table><tr><td>Председник:</td><td>др Вук Богдановић, редовни професор</td></tr><tr><td>Члан:</td><td>др Драган Јовановић, редовни професор</td></tr><tr><td>Члан:</td><td>др Жељко Шарић, доцент</td></tr><tr><td>Члан:</td><td>др Зоран Овцин, доцент</td></tr><tr><td>Члан, ментор:</td><td>др Зоран Папић, ванредни професор</td></tr></table>	Председник:	др Вук Богдановић, редовни професор	Члан:	др Драган Јовановић, редовни професор	Члан:	др Жељко Шарић, доцент	Члан:	др Зоран Овцин, доцент	Члан, ментор:	др Зоран Папић, ванредни професор
Председник:	др Вук Богдановић, редовни професор										
Члан:	др Драган Јовановић, редовни професор										
Члан:	др Жељко Шарић, доцент										
Члан:	др Зоран Овцин, доцент										
Члан, ментор:	др Зоран Папић, ванредни професор										
	Потпис ментора										



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :											
Identification number, INO :											
Document type, DT :	Monographic publication										
Type of record, TR :	Textual printed material										
Contents code, CC :	Ph. D. thesis										
Author, AU :	M.Sc. Nenad Saulić										
Mentor, MN :	Ph.D. Zoran Papić										
Title, TI :	Vehicle damage as an indicator of impact velocity in a pedestrian collision										
Language of text, LT :	Serbian										
Language of abstract, LA :	Serbian/English										
Country of publication, CP :	Republic of Serbia										
Locality of publication, LP :	AP of Vojvodina										
Publication year, PY :	2021.										
Publisher, PB :	Author's reprint										
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad										
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graph s/appendixes)	10 chapters/139 pages/91 ref./61 tables/104 pictures/3 appendixes										
Scientific field, SF :	Traffic engineering										
Scientific discipline, SD :	Traffic Planning, Regulation and Safety										
Subject/Key words, S/KW :	Pedestrian traffic accidents, throw distance, vehicle damage, impact vehicle velocity										
UC											
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad										
Note, N :											
Abstract, AB :	<p>The subject of research within this dissertation is traffic accidents such as vehicle collisions with pedestrians. Vehicle velocity and pedestrian throw distance are the basic parameters in the analysis of traffic accidents of this type. Previous research has shown that there is a strong correlation between these two parameters. All existing models for predicting the impact velocity of vehicles are based on knowledge of the throw distance of the pedestrian. However, the throw distance of a pedestrian is often unknown because the position of the primary contact or the stopping position of the body of the pedestrian after the collision cannot be reliably determined. In this type of traffic accident, traces on pedestrians are manifested as injuries, and contact traces and damage remain on vehicles. The World Health Organization has developed an AIS value scale for coding injuries to participants in traffic accidents. Following the example of the AIS scale, one of the tasks within this dissertation is the formation of the ordinal scale, which will coded the damage to the vehicle.</p> <p>The aim of this dissertation is to establish a clear correlation between vehicle damage and impact velocity on pedestrian and to determine the relationship between the scaled intensity of vehicle damage and the distance of the pedestrian body, more precisely - impact vehicle velocity.</p>										
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	28.12.2020.										
Defended on, DE :											
Defended Board, DB :	<table border="1"> <tr> <td>President:</td> <td>Ph.D. Vuk Bogdanović, Full professor</td> </tr> <tr> <td>Member:</td> <td>Ph.D. Dragan Jovanović, Full professor</td> </tr> <tr> <td>Member:</td> <td>Ph.D. Željko Šarić, Assistant professor</td> </tr> <tr> <td>Member:</td> <td>Ph.D. Zoran Ovcin, Assistant professor</td> </tr> <tr> <td>Member, Mentor:</td> <td>Ph.D. Zoran Papić, Associate professor</td> </tr> </table>	President:	Ph.D. Vuk Bogdanović, Full professor	Member:	Ph.D. Dragan Jovanović, Full professor	Member:	Ph.D. Željko Šarić, Assistant professor	Member:	Ph.D. Zoran Ovcin, Assistant professor	Member, Mentor:	Ph.D. Zoran Papić, Associate professor
President:	Ph.D. Vuk Bogdanović, Full professor										
Member:	Ph.D. Dragan Jovanović, Full professor										
Member:	Ph.D. Željko Šarić, Assistant professor										
Member:	Ph.D. Zoran Ovcin, Assistant professor										
Member, Mentor:	Ph.D. Zoran Papić, Associate professor										
	Menthor's sign										

ZAHVALNICA

Prvenstveno se zahvaljujem mentoru, prof. dr Zoranu Papiću na pruženoj stručnoj pomoći i moralnoj podršci tokom usavršavanja i celokupnog zajedničkog rada kao i tokom izrade doktorske disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem i svim članovima komisije: prof. dr Vuku Bogdanoviću, prof. dr Draganu Jovanoviću i doc. dr Željku Šariću, koji su svojim korisnim savetima, primedbama i sugestijama značajno doprineli izradi ovog rada. Posebno se zahvaljujem doc. dr Zoranu Ovcinu na neizmernoj pomoći prilikom statističke obrade podataka.

Najiskrenije se zahvaljujem kolegama sa Departmana za saobraćaj koji su mi pomogli da uspešno izradim doktorsku disertaciju.

Neizmernu zahvalnost dugujem roditeljima i braći, za sva odricanja i podršku koju su mi pružali ne samo u toku doktorskih studija, već i tokom celog perioda školovanja.

Na kraju, posebnu zahvalnost dugujem supruzi Slobodanki na razumevanju, ličnom odricanju i pomoći koju mi je pružala tokom izrade doktorske disertacije. Podrška koju mi je pružala u svakom trenutku nije manjkala ni u periodu nakon rođenja naše kćerke Katarine.

Doktorsku disertaciju posvećujem svojoj porodici.

REZIME

Brzina vozila i daljina odbačaja tela pešaka predstavljaju osnovne kinematičke parametre u analizi saobraćajnih nezgoda tipa nalet vozila na pešaka. Sva dosadašnja istraživanja su pokazala da postoji jaka korelativna veza između ova dva pomenuta parametra. Svi postojeći empirijski modeli za predikciju brzine vozila u trenutku naleta zasnivaju se na poznavanju daljine odbačaja pešaka. Da bi se utvrdila daljina odbačaja pešaka, neophodno je poznavati mesta primarnog kontakta između vozila i pešaka, kao i zaustavnu poziciju pešaka. Međutim, ove dve pozicije se često ne mogu pouzdano utvrditi zbog nedostatka materijalnih tragova.

Prilikom naleta vozila na pešaka, na vozilu nastaju kontakti tragovi i oštećenja, dok se kod pešaka ti tragovi manifestuju u vidu povreda. Komitet Američkog medicinskog udruženja, Društva saobraćajnih inženjera i Udruženja za unapređenje saobraćajne medicine je razvilo ideju o kodiranju težine povreda nastalih u saobraćajnim nezgodama. U tom smislu, uspostavljena je A/S skala, u kojoj su povrede nastale kod učesnika saobraćajnih nezgoda, u skladu sa njihovom težinom, kodirane određenim vrednostima (0 - nema konstatovanih povreda do 6 - momentalna smrt na licu mesta). Po ugledu na A/S skalu, u okviru doktorske disertacije formirana je ordinalna skala koja prikazuje intenzitet oštećenja vozila nastala prilikom kontakta sa pešakom. Oštećenja na vozilu su kodirana skalom od 1 do 15, gde najmanja vrednost predstavlja situaciju gde nema vidljivih oštećenja na vozilu, osim obrisa prašine. Maksimalnom vrednošću se kodiraju situacije u kojima je vozilo potpuno havarisano, odnosno deformisan je poklopac motora, krov, dok je vetrobransko staklo probijeno.

Istraživanje u okviru doktorske disertacije je sprovedeno u dve etape. U okviru prve faze definisan je model za predikciju daljine odbačaja pešaka na osnovu intenziteta i visine oštećenja na vozilu. Model je baziran na višegodišnjim analizama realnih saobraćajnih nezgoda od strane ekspertskega tima Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Validacija modela je izvršena na rezultatima eksperimentalnih istraživanja na fizičkim modelima pešaka.

U drugom delu istraživanja utvrđen je model za predikciju naletne brzine vozila. Istraživanjem je potvrđena jaka korelativna veza između daljine odbačaja pešaka i naletne brzine vozila. Implementacijom modela, definisanog u okviru prve faze, utvrđen je konačni model za predikciju naletne brzine vozila, zasnovan na poznavanju karakteristika oštećenja vozila (intenzitet i visina oštećenja). Model je zasnovan na podacima dobijenim eksperimentalnim istraživanjima na fizičkim modelima pešaka, a testiran je na bazi podataka dobijenih na osnovu EES (Energy Equivalent Speed) kataloga.

ABSTRACT

The velocity of the vehicle and the throw distance of the body of the pedestrian are the basic kinematic parameters in the analysis of traffic accidents such as the collision of a vehicle with a pedestrian. All previous research has shown that there is a strong correlation between these two mentioned parameters. All existing empirical models for predicting vehicle velocity at the time of collision are based on knowledge of pedestrian throw distance. In order to determine the throw distance of pedestrian, it is necessary to know the places of primary contact between vehicles and pedestrians, as well as the stopping position of pedestrians. However, these two positions often cannot be reliably determined due to the lack of material traces.

When a vehicle collides with a pedestrian, contact marks and damage occur on the vehicle, while with pedestrians, these traces manifest themselves in the form of injuries. A committee of the American Medical Association, Society of Automotive Engineers, and The Association for the Advancement of Automotive has developed the idea of coding the severity of injuries caused by traffic accidents. In that sense, the AIS scale was established, in which injuries occurred in the participants of traffic accidents, in accordance with their severity, coded with certain values (0 - no injuries were found until 6 - instant death on the spot). Following the example of the AIS scale, an ordinal scale was formed within this dissertation, which shows the intensity of vehicle damage caused during contact with a pedestrian. Damage to the vehicle is coded on a scale from 1 to 15, where the lowest value represents the situation where there is no visible damage to the vehicle, except for the dust outline. The maximum value encodes situations in which the vehicle is completely damaged, in case that the bonnet and roof are deformed, while the windshield is broken.

The research within this dissertation was conducted in two stages. Within the first phase, a model for predicting the throw distance of a pedestrian based on the intensity and height of damage to the vehicle. The model is based on many years of analysis of real traffic accidents by the expert team of the Department of Traffic, Faculty of Technical Sciences in Novi Sad. Model validation was performed on the results of experimental research on physical models of pedestrians.

In the second part of the research, a model for predicting the impact velocity of a vehicle was determined. The research confirmed a strong correlation between the throw distance of pedestrian and the impact velocity of the vehicle. The implementation of the model, defined within the first phase, determined the final model for the prediction of impact velocity of the vehicle, based on knowledge of the characteristics of vehicle damage (intensity and height of damage). The model is based on data obtained by experimental research on physical models of pedestrians, and was tested on the basis of data obtained on the basis of EES (Energy Equivalent Speed) catalog.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
SPISAK TABELA	IV
SPISAK SLIKA.....	VII
SPISAK SKRAĆENICA I OZNAKA	XI
1. UVODNA RAZMATRANJA	1
1.1. Definisanje problema i cilja istraživanja	2
1.2. Definisanje polazne hipoteze.....	4
1.3. Metode istraživanja	5
1.4. Prikaz strukture doktorske disertacije po poglavljima.....	6
2. KLASIFIKACIJA NALETA VOZILA NA PEŠAKE.....	8
2.1. Čeoni nalet vozila na pešaka.....	9
2.1.1. Potpuni čeoni nalet vozila na pešaka	9
2.1.2. Delimično čeoni nalet vozila na pešaka.....	10
2.2. Bočno okrznuće	12
2.3. Gaženje.....	13
3. KINEMATIKA NALETA VOZILA NA PEŠAKA.....	15
3.1. Kretanje tela pešaka nakon naleta	15
3.1.1. Faza kontakta i transporta	16
3.1.2. Faza leta	18
3.1.3. Faza klizanja	19
3.2. Uticaj visine pešaka i oblika karoserije vozila na kinematiku naleta	21
3.3. Trajektorije pešaka nakon kontakta sa vozilom	24
4. POSTOJEĆI MODELI ZA UTVRĐIVANJE BRZINE KRETANJA VOZILA PRILIKOM NALETA NA PEŠAKA.....	29

4.1.	Model zasnovan na fizičkim zakonima.....	29
4.2.	Empirijski modeli zasnovani na daljini odbačaja tela pešaka	36
4.3.	Uporedna analiza postojećih empirijskih modela	48
5.	POVREDE PEŠAKA KAO KRITERIJUM ZA UTVRĐIVANJE NALETNE BRZINE VOZILA 50	
5.1.	Mehanizam povređivanja pešaka u saobraćajnim nezgodama	52
5.2.	Povrede pešaka kao indikator naletne brzine vozila	52
5.3.	Klasifikacija povreda pešaka prema A/S kriterijumu	56
6.	OŠTEĆENJA NA VOZILIMA U SAOBRAĆAJNIM NEZGODAMA SA UČEŠĆEM PEŠAKA	59
6.1.	Oštećenja na vozilima kao indikator naletne brzine	60
6.2.	Intenzitet oštećenja vozila	65
7.	DEFINISANJE PODRUČJA I METODA ISTRAŽIVANJA	75
7.1.	Područje istraživanja	76
7.2.	Metod istraživanja	78
7.2.1.	Faktorska analiza	81
7.2.2.	Koeficijent korelacije	81
7.2.3.	Regresiona analiza, p-vrednost i koeficijent determinacije	82
7.2.4.	Apsolutna i relativna greška	84
7.3.	Formiranje baza podataka.....	85
8.	FORMIRANJE MODELA ZA UTVRĐIVANJE DALJINE ODBAČAJA PEŠAKA NEZAVISNOG OD NALETNE BRZINE VOZILA	90
8.1.	Izbor prediktorskih promenljivih	90
8.2.	Elementi regresione analize	93
8.3.	Model za predikciju daljine odbačaja pešaka kod potpunog čeonog naleta vozila na pešaka.....	94
8.3.1.	Varijanta 1.....	94
8.3.2.	Varijanta 2.....	95
8.3.3.	Varijanta 3.....	95
8.3.4.	Varijanta 4.....	96
8.3.5.	Varijanta 5.....	96
8.3.6.	Varijanta 6.....	97
8.3.7.	Varijanta 7.....	97
8.3.8.	Varijanta 8.....	98
8.3.9.	Varijanta 9.....	98
8.3.10.	Varijanta 10.....	99
8.3.11.	Izbor modela	99
8.4.	Model za predikciju daljine odbačaja pešaka kod delimično čeonog naleta vozila na pešaka.....	101
8.4.1.	Varijanta 1.....	102

8.4.2. Varijanta 2.....	102
8.4.3. Varijanta 3.....	103
8.4.4. Varijanta 4.....	103
8.4.5. Varijanta 5.....	103
8.4.6. Varijanta 6.....	104
8.4.7. Varijanta 7.....	104
8.4.8. Varijanta 8.....	105
8.4.9. Varijanta 9.....	105
8.4.10. Varijanta 10.....	106
8.4.11. Izbor modela	106
8.5. Testiranje modela za predikciju daljine odbačaja tela pešaka.....	108
9. FORMIRANJE MODELA ZA UTVRĐIVANJE BRZINE KRETANJA VOZILA PRILIKOM NALETA NA PEŠAKA.....	113
9.1. Izbor prediktorskih promenljivih	113
9.2. Elementi regresione analize	115
9.3. Model za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka	115
9.3.1. Varijanta 1.....	116
9.3.2. Varijanta 2.....	116
9.3.3. Varijanta 3.....	116
9.3.4. Varijanta 4.....	117
9.3.5. Varijanta 5.....	117
9.3.6. Varijanta 6.....	118
9.3.7. Izbor modela	118
9.4. Testiranje modela.....	121
10. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA.....	128
LITERATURA.....	132
PRILOZI.....	139

SPISAK TABELA

Tabela 1.1 Parametri neophodni za primenu empirijskih izraza prilikom utvrđivanja brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka, u zavisnosti od autora	3
Tabela 2.1 Prosečne vrednosti parametara prohodnosti po kategorijama vozila	14
Tabela 3.1 Karakteristikni parametri pri naletu vozila na pešaka u zavisnosti od oblika karoserije	23
Tabela 5.1 Vrednosti naletne brzine vozila i karakteristične povrede pešaka	55
Tabela 5.2 Vrednovanje povreda glave prema AIS vrednostima	57
Tabela 5.3 Vrednovanje povreda grudnog koša prema AIS vrednostima	57
Tabela 5.4 Vrednovanje povreda karlice prema AIS vrednostima	58
Tabela 5.5 Vrednovanje povreda noge prema AIS vrednostima.....	58
Tabela 6.1 Karakteristične dužine na vozilu relevantne u analizi naleta na pešaka	63
Tabela 6.2 Rezultati regresione analize, koji su sprovedeni na CIP modelima pešaka	65
Tabela 6.3. Vrednosti parametra intenziteta oštećenja vozila.....	66
Tabela 6.4 Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 1 i 2, objašnjenje i primeri.....	67
Tabela 6.5. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 3 i 4, objašnjenje i primeri.....	68
Tabela 6.6. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 5 i 6, objašnjenje i primeri.....	69
Tabela 6.7. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 7 i 8, objašnjenje i primeri.....	70
Tabela 6.8. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 9 i 10, objašnjenje i primeri.....	71
Tabela 6.9. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 11 i 12, objašnjenje i primeri.....	72
Tabela 6.10. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 13 i 14, objašnjenje i primeri.....	73
Tabela 6.11. Intenzitet oštećenja vozila za vrednost 15, objašnjenje i primeri	74
Tabela 7.1 Definisane vrednosti prediktorskih promenljivih	86
Tabela 8.1 Koeficijenti korelacije između značajnih parametara kod potpunog čeonog naleta vozila na pešaka	93
Tabela 8.2 Koeficijenti korelacije između značajnih parametara kod delimično ulaznog ili izlaznog naleta vozila na pešaka.....	93
Tabela 8.3 Oznake nivoa značajnosti prediktorskih promenljivih	94
Tabela 8.4 Rezultati regresione analize varijante 1	94

Tabela 8.5 Rezultati regresione analize varijante 2	95
Tabela 8.6 Rezultati regresione analize varijante 3	95
Tabela 8.7 Rezultati regresione analize varijante 4	96
Tabela 8.8 Rezultati regresione analize varijante 5	97
Tabela 8.9 Rezultati regresione analize varijante 6	97
Tabela 8.10 Rezultati regresione analize varijante 7	98
Tabela 8.11 Rezultati regresione analize varijante 8	98
Tabela 8.12 Rezultati regresione analize varijante 9	99
Tabela 8.13 Rezultati regresione analize varijante 10	99
Tabela 8.14 Rezultati regresione analize	100
Tabela 8.15 Rezultati regresione analize varijante 1	102
Tabela 8.16 Rezultati regresione analize varijante 2	102
Tabela 8.17 Rezultati regresione analize varijante 3	103
Tabela 8.18 Rezultati regresione analize varijante 4	103
Tabela 8.19 Rezultati regresione analize varijante 5	104
Tabela 8.20 Rezultati regresione analize varijante 6	104
Tabela 8.21 Rezultati regresione analize varijante 7	105
Tabela 8.22 Rezultati regresione analize varijante 8	105
Tabela 8.23 Rezultati regresione analize varijante 9	106
Tabela 8.24 Rezultati regresione analize varijante 10	106
Tabela 8.25 Rezultati regresione analize	107
Tabela 8.26 Rezultati t-testa	109
Tabela 8.27 Testiranje modela za predikciju daljine odbačaja pešaka	109
Tabela 8.28 Rezultati integrisanja modela daljine odbačaja 8.1 i modela za predikciju brzine kretanja vozila, koje su razvili Barzeley i Lacy, Stcherbatcheff, Limpert, Appel, Burg i Moser i primenom fizičkog modela.....	111
Tabela 9.1 Koeficijenti korelacije između parametara, prilikom punog naleta vozila na pešaka	114
Tabela 9.2 Rezultati regresione analize varijante 1	116
Tabela 9.3 Rezultati regresione analize varijante 2	116
Tabela 9.4 Rezultati regresione analize varijante 3	117
Tabela 9.5 Rezultati regresione analize varijante 4	117
Tabela 9.6 Rezultati regresione analize varijante 5	117
Tabela 9.7 Rezultati regresione analize varijante 6	118
Tabela 9.8 Rezultati regresione analize	118
Tabela 9.9 Uporedna analiza brzina kretanja vozila u testovima i njihovih modelovanih vrednosti	119
Tabela 9.10 Rezultati t-testa	122
Tabela 9.11 Testiranje modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku kontakta sa pešakom	122

Tabela 9.12. Uporedna analiza rezultata modela, sa modelima koje su razvili Searle i Wood	124
Tabela 9.13. Uporedna analiza modela za utvrđivanje naletne brzine vozila, sa modelima koje su razvili Barzeley i Lacy, Stcherbatcheff, Limpert, Appel, Burg i Moser i fizičkog modela	126

SPISAK SLIKA

Slika 2.1 Klasifikacija saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka	8
Slika 2.2 Potpuni čeoní nalet vozila i pešaka	9
Slika 2.3 Uticaj položaja pešaka u odnosu na vozilu na njegovo kretanje nakon primarnog kontakta	10
Slika 2.4 Ulazni delimično čeoní nalet vozila na pešaka	11
Slika 2.5 Delimično čeoní izlazni nalet vozila na pešaka	11
Slika 2.6 Delimično čeoní nalet na pešaka u pravcu	12
Slika 2.7 Bočno okrznuće vozila i pešaka	12
Slika 2.8 Klirens i prilazni ugao na vozilima BMW X5 i Porsche Carrera	13
Slika 3.1 Karakteristične faze kretanja tela pešaka nakon kontakta sa vozilom	16
Slika 3.2 Prikaz kinematike naleta na pešaka tokom faze kontakta i transporta	17
Slika 3.3 Dijagram brzina vozila i pešaka kod kočenih naleta	18
Slika 3.4 Dijagram brzina vozila i pešaka kod nekočenih naleta	18
Slika 3.5 Dužina puta klizanja pešaka u funkciji naletne brzine	20
Slika 3.6 Usporeenje fizičkih modela pešaka u zavisnosti od naletne brzine	20
Slika 3.7 Karakteristične visine delova tela pešaka za starosnu dob od 3-18 god.	21
Slika 3.8 Karakteristične dimenzije i oblici karoserija vozila u saobraćajnim nezgodama sa pešacima	22
Slika 3.9 Trajektorija tela pešaka za potpuni čeoní kočení nalet ("wrap")	25
Slika 3.10 Trajektorija tela pešaka kod naleta vozila sandučastog oblika karoserije ("forward projection")	25
Slika 3.11 Trajektorija tela pešaka kod delimično čeonog naleta vozila ("fender vault")	26
Slika 3.12 Trajektorija tela pešaka kod potpuno čeonog nekočenog naleta ("roof vault")	27
Slika 3.13 Trajektorija tela pešaka kod kočenog potpuno čeonog naleta, pri većim naletnim brzinama ("somersault")	28
Slika 4.1 Daljina odbačaja tela pešaka po karakterističnim fazama	30
Slika 4.2 Približne vrednosti koeficijenta η u zavisnosti od oblika karoserije vozila (Burg & Moser, 2007)	31

Slika 4.3 Funkcija gustine veličine D	36
Slika 4.4 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema izrazu 4.32 ...	37
Slika 4.5 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Barzeley-u i Lacy-u (izraz 4.33)	38
Slika 4.6 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Searle-u (izraz 4.34).....	39
Slika 4.7 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Limpert-u (izraz 4.35).....	39
Slika 4.8 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Wood-u (izraz 4.36).....	40
Slika 4.9 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Wood-u (izrazi 4.37 4.38)	41
Slika 4.10. Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Collins-u (izraz 4.39).....	41
Slika 4.11 Zavisnost naletne brzine od daljine odbačaja pešaka, prema Stcherbatcheff –u (izraz 4.40).....	42
Slika 4.12 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Eubanks & Bank–u (izraz 4.41)	43
Slika 4.13 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Eubanks-u (izraz 4.42).....	44
Slika 4.14 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Aronberg & Snider-u (izraz 4.43).....	45
Slika 4.15 Zavisnost naletne brzine vozile od daljine odbačaja pešaka, prema Casteel-u (izraz 4.44).....	45
Slika 4.16 Zavisnost naletne brzine vozile od daljine odbačaja pešaka, prema Appel-u (izrazi 4.45-4.48)	46
Slika 4.17 Zavisnost naletne brzine vozile od daljine odbačaja pešaka, prema Burg-u i Moser-u (izraz 4.49).....	47
Slika 4.18 Uklapanje daljine odbačaja tela pešaka u realnim saobraćajnim nezgodama u funkciju uspostavljenju na osnovu eksperimentalnih istraživanja.....	48
Slika 4.19 Prikaz uporedne analize postojećih empirijskih modela za predikciju brzine vozila kod naleta sa pešakom sa tzv. “wrap” trajektorijom	49
Slika 4.20 Prikaz uporedne analize postojećih empirijskih modela za predikciju brzine vozila kod naleta sa pešakom sa tzv. “wrap” trajektorijom i definisanim min i max vrednostima	49
Slika 5.1 Povrede pešaka u saobraćajnim nezgodama koje dovode do lakših ili težih povreda (označene plavom bojom) i smrtnih ishoda (označene crvenom bojom) (Jain, 2004)	51
Slika 5.2 Rizik od smrtnog ishoda pešaka, u zavisnosti od naletne brzine vozila.....	53
Slika 5.3 Rizik nastanka povreda pešaka, u zavisnosti od naletne brzine vozila, za starosnu dob do 14 godina	54
Slika 5.4 Rizik nastanka povreda pešaka, u zavisnosti od naletne brzine vozila, za starosnu dob od 15 do 59 godina	54
Slika 5.5 Rizik nastanka povreda pešaka, u zavisnosti od naletne brzine vozila, za starosnu dob preko 60 godina	54

Slika 6.1 Karakteristična oštećenja vetobranskog stakla nastala usled kontakta sa glavom pešaka	60
Slika 6.2 Uporedna analiza sudarnih brzina dobijenih modelom (Xu et al., 2009) sa brzinama vozila utvrđenih u realnim saobraćajnim nezgodama	61
Slika 6.3 Rastojanje između ravni podloge i mesta kontakta glave pešaka sa vozilom (WAD)	62
Slika 6.4 Karakteristične visine na prednjem delu vozila za utvrđivanje parametra WAD	62
Slika 6.5 Uporedna analiza Wood-ovog modela dobijenog Monte Carlo metodom sa WRR vrednostima utvrđenim eksperimentalnim istraživanjima	64
Slika 6.6 Dijagram reziduala između modelovanih vrednosti i eksperimentalno utvrđenih vrednosti parametra WRR.....	64
Slika 6.7. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 1	67
Slika 6.8. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 1	67
Slika 6.9. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 2	67
Slika 6.10. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 2	67
Slika 6.11. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 3	68
Slika 6.12. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 3	68
Slika 6.13. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 4	68
Slika 6.14. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 4	68
Slika 6.15. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 5	69
Slika 6.16. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 5	69
Slika 6.17. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 6	69
Slika 6.18. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 6	69
Slika 6.19. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 7	70
Slika 6.20. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 7	70
Slika 6.21. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 8	70
Slika 6.22. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 8	70
Slika 6.23. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 9	71
Slika 6.24. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 9	71
Slika 6.25. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 10	71
Slika 6.26. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 10	71
Slika 6.27. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 11	72
Slika 6.28. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 11	72
Slika 6.29. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 12	72
Slika 6.30. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 12	72
Slika 6.31. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 13	73
Slika 6.32. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 13	73
Slika 6.33. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 14	73
Slika 6.34. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 14	73
Slika 6.35. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 15	74

Slika 6.36. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 15	74
Slika 7.1 Skica mesta nezgode u jednoj od saobraćajnih nezgoda u okviru baze „Ekspert“	76
Slika 7.2 Oštećenja na jednom od vozila nakon naleta na pešaka korišćena u bazi „Ekspert“	77
Slika 7.3 Oštećenja na jednom od vozila u okviru baze “EES katalog”	77
Slika 7.4 Detalji iz jednog od testova korišćenih u formiranju baze podataka “PC Crash”	78
Slika 7.5 Izgled Spreadsheet tabele u programu MS Excel	79
Slika 7.6 Radno okruženje u softveru Matlab	80
Slika 7.7 Radno okruženje u softveru RStudio	80
Slika 7.8 Primer linearne regresije sa jednom prediktorskom varijablom	83
Slika 7.9 Parametri geometrije vozila korišćeni u analizi	87
Slika 7.10 Utvrđivanje pozicije najvišeg oštećenja na vozilu	88
Slika 7.11 Utvrđivanje visine oštećenja na vozilu prilikom eksperimentalnih istraživanja na fizičkim modelima pešaka	88
Slika 8.1 Faktorska analiza ekspertske baze sa Promax rotacijom	91
Slika 8.2 Izdvojeni faktori sa slike 8.1 koji su zadržani za formiranje modela	92
Slika 8.3 Reziduali, dobijeni primenom modela iz varijante 3	96
Slika 8.4 Plot dijagram reziduala modela za predikciju daljine odbačaja pešaka kod potpunog čeonog naleta	101
Slika 8.5 Plot dijagram reziduala modela za predikciju daljine odbačaja pešaka kod delimično čeonih naleta	108
Slika 8.6 Rezultati integrisanja modela daljine odbačaja 8.1 i modela za predikciju brzine kretanja vozila, koje su razvili Searle i Wood	112
Slika 9.1 Faktorska analiza “PC Crash” baze	114
Slika 9.2. Plot dijagram reziduala modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka	120
Slika 9.3 Grafički prikaz zavisnosti naletne brzine vozila u odnosu na intenzitet oštećenja (I_0) i visinu oštećenja (h_0)	121
Slika 9.4. Uporedna analiza modela za utvrđivanje naletne brzine vozila, sa modelima Searle i Wood	125
Slika 9.5, . Uporedna analiza modela za utvrđivanje naletne brzine vozila, sa modelima koje su razvili Barzeley i Lacy, Stcherbatcheff, Limpert, Appel, Burg i Moser i fizičkog model ..	127

SPISAK SKRAĆENICA I OZNAKA

AIS	skraćena skala povreda (eng. <i>Abbreviated Injury Scale</i>)
EES	ekvivalent brzine vozila utrošen u sudaru na deformacioni rad (Energy Equivalent Speed)
WAD	rastojanje između ravni kolovoza i visine na kojoj je glava pešaka ostvarila kontakt sa gornjim delovima vozila (eng. <i>Wrap Around Distance</i>)
WHO	Svetska zdravstvena organizacija (eng. <i>World Health Organization</i>)
f	faktor usporenja vozila
g	ubrzanje Zemljine teže [$\sim 9,81 \text{ m/s}^2$]
h_o	najviše oštećenje na vozilu (ordinalna skala 0-15)
h_p	visina pešaka [m]
h_{pd}	visina prednjeg dela vozila [m]
h_t	visina težišta pešaka [m]
I	impuls [kgm/s]
I_o	intenzitet oštećenja na vozilu (ordinalna skala 1-15)
L_p	visina na kojoj se nalazi donja ivica poklopca motora [m]
L_{pm}	dužina poklopca motora [m]
L_{vs}	dužina vetrobranskog stakla [m]
m_v	masa vozila [kg]

m_p	masa pešaka [kg]
N	sila reakcija podloge [N]
O_h	odnos visine pešaka i visine vozila
S_{odb}	daljina odbačaja tela pešaka [m]
s_0	dužina puta transporta pešaka na vozilu [m]
s_1	dužina puta leta tela pešaka [m]
s_2	dužina puta klizanja tela pešaka po podlozi [m]
T	vreme koje pešak provede u letu nakon odbačaja od vozila [s]
V_p	brzina kretanja pešaka pre kontakta sa vozilom [m/s; km/h]
V'_p	brzina kretanja tela pešaka u trenutku odvajanja od vozila (završni deo faze kontakta i transporta) [m/s; km/h]
V_s	brzina vozila u trenutku naleta na pešaka [m/s; km/h]
V'_s	brzina kretanja vozila u trenutku odvajanja tela pešaka od vozila (završni deo faze kontakta i transporta) [m/s; km/h]
η	koeficijent kojim se prikazuje razlika između brzina kretanja vozila (V'_s) i brzina tela pešaka (V'_p), u trenutku odvajanja tela pešaka od vozila
θ	ugao pod kojim se vrši odbačaj tela pešaka [°]
μ_p	koeficijent trenja između tela pešaka i podloge
φ	ugao između vozila i pešaka u trenutku kontakta, odnosno ugao koji su gradili vektori brzine kretanja pešaka i vozila neposredno pre kontakta [°]

1. UVODNA RAZMATRANJA

Ekspertize saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka su specifične sa metodološkog aspekta. U većini saobraćajnih nezgoda ovog tipa u zoni mesta nezgode, osim zaustavne pozicije pešaka, ne ostaju nepokretni tragovi na osnovu kojih bi se sa velikom pouzdanošću mogla izvršiti njihova rekonstrukcija, odnosno utvrditi način i sve okolnosti pod kojima je do nezgode došlo. Povrede pešaka i oštećenja na vozilima mogu ukazivati na njihov međusobni položaj u trenutku primarnog kontakta, dok se brzine i režim kretanja pešaka u principu procenjuju na osnovu iskaza svedoka i učesnika nezgode ili zakonitosti zasnovanih na empirijskim i eksperimentalnim istraživanjima ([Kostić, 2009b](#)).

Sa forenzičkog aspekta, osnovni pokazatelji saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka su:

- mesto primarnog kontakta na vozilu,
- položaj pešaka u odnosu na vozilo u trenutku kontakta,
- brzina vozila u momentu naleta,
- povrede pešaka,
- oštećenja na vozilu, itd. ([Gábor, 2004](#)).

S obzirom da pešak, kao učesnik u saobraćaju, izuzev odeće, na sebi nema nikakvu spoljnu zaštitu, prilikom kontakta sa vozilom njegovo telo je direktno izloženo dejstvu mehaničkih sila. Saobraćajne nezgode sa učešćem pešaka, zbog izraženih razlika u masama i kinetičkim energijama učesnika nezgode, po pravilu za posledicu imaju povređivanje pešaka, a neretko se završavaju i smrtnim ishodom ([Gábor, 2004](#)). Iz tog razloga, ova grupa učesnika u saobraćaju se, zajedno sa biciklistima i motociklistima, smatra najranjivijom ([Mitrović Simić, 2016](#)).

Pored povreda pešaka, jedan od značajnih indikatora brzine vozila u trenutku naleta su oštećenja i tragovi na vozilu nastali u nezgodi. Analiza ovih tragova je od izuzetne važnosti za utvrđivanje okolnosti pod kojima se dogodila nezgoda. Sama činjenica da veća kinetička energija vozila u kontaktu sa pešakom indukuje ozbiljnije povrede, ali i veća oštećenja na

vozilu, upućuje na zaključak da između naletne brzine vozila, povreda pešaka i intenziteta oštećenja vozila postoji sasvim izvesna jaka korelacija.

1.1. Definisanje problema i cilja istraživanja

Kako bi se saobraćajna nezgoda sa učešćem pešaka u potpunosti rekonstruisala, neophodno je dati odgovore na sledeća pitanja:

- gde se dogodio primarni kontakt između vozila i pešaka,
- kojom brzinom se kretalo vozilo u trenutku kontakta,
- kako se kretao pešak u trenutku i neposredno pre kontakta,
- koliko dugo se pešak nalazio u vidnom polju vozača,
- kojom brzinom i u kom režimu se vozilo kretalo neposredno pre kontakta,
- gde se nalazilo vozilo u trenutku stupanja pešaka na kolovoz, odnosno u trenutku nastanka opasne situacije,
- sa koje je udaljenosti vozač mogao uočiti pešaka,
- kolika je dužina zaustavnog puta za utvrđenu brzinu kretanja vozila, itd.

Brzina vozila u trenutku naleta na pešaka je jedan od najbitnijih parametara u postupku rekonstrukcije saobraćajnih nezgoda ovog tipa. Naletna brzina se može utvrditi ili okvirno definisati na osnovu tragova kočenja vozila na kolovozu, tragova koji definišu mesto kontakta (staklo, plastika, ljuspice boje itd.), zaustavne pozicije pešaka, oštećenja na vozilu, povreda i visine pešaka, brzine kretanja pešaka itd.

U postupku ekspertiza saobraćajnih nezgoda, u primeni je više fizičkih i empirijskih izraza na osnovu kojih je moguće utvrditi brzinu kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka. Limpert ([Limpert, s 1999a](#)) je uspostavio model u kome je brzinu vozila u trenutku naleta na pešaka moguće utvrditi na osnovu daljine odbačaja pešaka i faktora usporenja vozila. Searle ([Searle & Searle, 1983](#)), Stcherbatcheff ([Stcherbatcheff et al., 1975](#)) i Wood i Simms ([Simms et al., 2004; Wood et al., 2005](#)) su definisali modele za proračun naletne brzine vozila na pešaka, koji uzimaju u obzir samo jedan nezavisan parametar – daljinu odbačaja pešaka. Eubanks ([T. Fugger et al., 2002](#)) pored daljine odbačaja pešaka, u model za proračun brzine kretanja vozila uključuje još neke elemente, kao što su brzina pešaka, visina oštećenja na vozilu, visina čelone strane vozila i dr.

U tabeli 1.1 dat je pregled autora postojećih empirijskih modela za utvrđivanje brzine vozila u trenutku naleta na pešaka, kao i parametara koji u njima figurišu. Kako se može videti, svi empirijski izrazi za proračun brzine se baziraju na daljini odbačaja tela pešaka, što ovom parametru daje poseban značaj.

Da bi se utvrdila daljina odbačaja pešaka, neophodno je poznavati mesto primarnog kontakta, kao i zaustavnu poziciju pešaka. Iskustva su pokazala da se u saobraćajnim nezgodama ovog tipa mesto naleta i zaustavna pozicija pešaka često ne mogu sasvim pouzdano utvrditi, zbog nedostatka materijalnih tragova ili napuštanja lica mesta od strane učesnika nezgode, udaljavanjem ili radi ukazivanja lekarske pomoći. Iz tog razloga fizičke i empirijske izraze za utvrđivanje brzine vozila u trenutku naleta na pešaka često nije moguće koristiti, tako da se ova brzina može samo proceniti na osnovu posledica saobraćajne nezgode, odnosno povreda pešaka i oštećenja na vozilu ([Kostić, 2009b](#)).

Tabela 1.1 Parametri neophodni za primenu empirijskih izraza prilikom utvrđivanja brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka, u zavisnosti od autora

autori	parametri										
	daljina odbačaja pešaka	faktor usporjenja vozila	težište pešaka	faktor usporjenja pešaka, prilikom	masa pešaka	masa vozila	najviša tačka u trajektoriji pešaka	ugao između pešaka i vozila	visina prednje čelone strane vozila	brzina pešaka	najviša tačka oštećenja na vozilu
Aronberg & Snider	X			X			X	X			
Barzeley & Lacy	X										
Casteel	X		X						X		
Collins	X		X	X							
Eubanks	X	X	X					X	X	X	X
Eubanks & dr. Bank	X		X	X							
Limpert	X	X									
Pultar	X		X								
Searle	X										
Stcherbatcheff	X										
Wood	X		X	X	X	X					
Wood	X										

Izvor: [\(Limpert, 1999a\)](#)[\(Han & Brach, 2001\)](#)[\(Batista, 2008\)](#)[\(J. J. Eubanks & Haight, 1992\)](#)[\(Cheng et al., 2015\)](#)[\(Wood, 1991\)](#)

Uticaj naletne brzine vozila na karakteristike i intenzitet povreda pešaka bila je tema više istraživanja u oblasti medicinske struke. Tako je od strane Udruženja za unapređenje saobraćajne medicine (Association for the Advancement of Automotive Medicine) najpre uspostavljen sistem kodiranja A/S (Abbreviated Injury Scale) kojim bi se klasifikovala i opisala težina povreda nastalih u saobraćajnim nezgodama. Ova skala je prvi put publikovana 1969. god., a nakon toga je više puta korigovana, sve do poslednje verzije iz 2015. god. Pored toga, više autora se bavilo uspostavljanjem korelacije između naletne brzine vozila i rizika nastanka pojedinih vrsta povreda pešaka [\(Beirau, 2012; Karger et al., 2000\)](#). Pri tome, većina autora se bavila rizikom od nastanka povreda pešaka sa smrtnim ishodom u funkciji naletne brzine. Dosadašnja praksa u oblasti ekspertiza saobraćajnih nezgoda je pokazala da u pojedinim nezgodama u kojima je naletna brzina vozila utvrđena na dovoljno pouzdan način, medicinski kriterijumi u vezi korelacije između naletne brzine i nastanka pojedinih vrsta povreda često odstupaju od realnih vrednosti [\(Stojiljković, et al., 2016\)](#). To se posebno odnosi na saobraćajne nezgode kod kojih nije nastupila smrtna posledica. I pored činjenice da se medicinski kriterijumi za nastanak pojedinih vrsta povreda u funkciji

naletne brzine ne mogu smatrati sasvim pouzdanim, usled nedostataka tragova saobraćajnih nezgoda relevantnih za analizu, oni se često uzimaju u obzir prilikom procene naletne brzine vozila.

S druge strane, smernice za unapređenje pasivne bezbednosti vozila, koje su potekle iz SAD šezdesetih godina prošlog veka ([Nader, 1965](#)), dovele su do toga da su proizvođači svih motornih vozila bili u obavezi da, između ostalog, ispituju deformabilne karakteristike novih serija vozila na tržištu. Na osnovu ovih istraživanja, uspostavljen je pojam ekvivalenta brzine vozila izgubljene na deformacioni rad prilikom naleta na nepokretnu i nedeformabilnu prepreku EBS (Equivalent Barrier Speed), ([Campbell, 1974](#)). Pojam EES (Energy Equivalent Speed), kojim je preko koeficijenta restitucije uspostavljena veza sa EBS (Burg, et al., 1980), opšte je prihvaćen i koristi se kod analize svih saobraćajnih nezgoda, a ne samo kod naleta na nedeformabilne i nepokretne prepreke. Na taj način, stekli su se uslovi da se na osnovu vidljivih oštećenja na vozilu, a u zavisnosti od tipa sudara, može izvršiti procena EES vrednosti za konkretnu saobraćajnu nezgodu. Ova procena se vrši na osnovu uporedne analize oštećenja na vozilu, koje je predmet analize, sa oštećenjima na vozilima istog ili sličnog tipa, dostupnih u katalozima u digitalnom formatu (EES katalog). S obzirom da se radi o procenjenoj vrednosti, opravdano se postavlja pitanje o njenoj objektivnosti, tako da u oceni ove veličine treba da učestvuje tim stručnjaka koji se bave istom problematikom. Na osnovu kolaborativnih analiza u ovoj oblasti ([Becke, 2007](#); [PC-Crash 12.1, 2019](#); [Spek, 2017](#)) može se zaključiti da odstupanja procenjenih u odnosu na realne EES vrednosti nisu velika, odnosno da između naletne brzine vozila i oštećenja i tragova na vozilu koje je učestvovalo u saobraćajnoj nezgodi sa učešćem pešaka, postoji sasvim izvesna korelacija. Upravo u tom smislu koncipiran je i predmet istraživanja ove doktorske disertacije.

U skladu sa gore navedenim, definisan je cilj doktorske disertacije po kome je potrebno uspostaviti jasnu korelaciju između oštećenja na vozilu i naletne brzine na pešaka. Po ugledu na A/S vrednosnu skalu povreda, prvi zadatak je formiranje ordinalne skale koja bi prikazala oštećenja na vozilu od svoje minimalne (nema oštećenja) do maksimalne vrednosti (potpuno havarisano vozilo), dok bi sledeći zadatak bio utvrđivanje zavisnosti između skaliranog intenziteta oštećenja na vozilu i daljine odbačaja tela pešaka, odnosno naletne brzine vozila.

1.2. Definisane polazne hipoteze

Na osnovu prethodno definisanih problema i ciljeva istraživanja, postavljene su polazne pretpostavke na osnovu kojih su kasnije izvedene i osnovne hipoteze ovog rada:

- Izmerene vrednosti od strane ekipe za vršenje uviđaja, kao i tragovi ucrtani na skicama se mogu smatrati dovoljno pouzdanim;
- U eksperimentalnim istraživanjima saobraćajnih nezgoda tipa vozilo-pešak, na posebno opremljenim poligonima, korišćeni su fizički modeli pešaka (dummy), koji svojim oblikom, veličinom i masom realno reprezentuju telo čoveka;
- Deskriptivni opis oštećenja vozila se može preformulisati u ordinalnu skalu, od najmanje od najveće vrednosti, odnosno od nepostojanja oštećenja do potpuno havarisanog vozila;

- Postoji visoka korelacija između brzine vozila u trenutku naleta i daljine odbačaja tela pešaka;
- I pored činjenice da su svi empirijski modeli za proračun brzine vozila u trenutku naleta na pešaka zasnovani na daljini odbačaja tela pešaka, postoji visok stepen korelacije između naletne brzine i još nekih parametara.

Pored navedenog, uspostavljena su i određena ograničenja u istraživanju koja utiču na osnovne hipoteze ovog rada, a odnose se na specifične tipove kontakta između vozila i pešaka:

- Zbog malog broja slučajeva netipičnih naleta vozila na pešake, isti nisu uzeti u obzir prilikom istraživanja. Osnovne hipoteze i zaključci ovog rada se ne odnose na ove nalete;
- Saobraćajne nezgode u kojima je došlo do gaženja tela pešaka nisu obuhvaćene ovim istraživanjem jer ih karakteriše potpuno drugačija kinematika.

Na osnovu prethodno definisanog problema i cilja istraživanja, definisane su polazne hipoteze, koje za sprovedeno istraživanje u ovom radu glase:

H1: Naknadnom obradom tragova nastalih u saobraćajnoj nezgodi tipa nalet vozila na pešaka, moguće je utvrditi brzinu kretanja vozila u trenutku kontakta, iako ne postoje materijalni tragovi koji bi definisali daljinu odbačaja pešaka.

H2: Intenzitet oštećenja na vozilu prilikom kontakta sa pešakom je u korelaciji sa daljinom odbačaja tela pešaka, a samim tim i sa brzinom kretanja vozila u trenutku kontakta.

1.3. Metode istraživanja

Za potrebe izrade disertacije izvršeno je istraživanje, koje je zasnovano na svim poznatim pravilima i metodama naučnog saznanja:

- brojanje i merenje, metode prikupljanja podataka i formiranja baze podataka;
- metoda klasifikacije (metoda kojom se vrši raščlanjivanje i razvrstavanje po određenim kriterijumima);
- metode analize (postupak u kom se problem rešava rastavljanjem predmeta istraživanja na njegove sastavne delove) i sinteze (shvatanje složenih celina preko njihovih pojedinačnih i posebnih delova);
- metoda generalizacije (metoda kojom se dobijaju opšti zaključci na osnovu pojedinačnih i konkretnih opažanja);
- metoda indukcije (metoda kojom se formiraju opšte zakonitosti na osnovu pojedinačnih zapažanja i činjenica) i dedukcije (metoda gde se pojedinačni zaključci formiraju na osnovu opštih elemenata);
- metoda kompilacije (postupak preuzimanja tuđih rezultata naučno-istraživačkog rada);
- metoda deskripcije (postupak opisivanja pojmova, činjenica i sl.)
- statističke i matematičke metode;
- komparativna metoda (postupak poređenja ili metoda kojom se saznaju određene sličnosti i razlike činilaca predmeta istraživanja).

Brojanje i merenje je primenjeno na samom početku prilikom formiranja baze podataka, zajedno sa drugim metodama prikupljanja podataka. Ujedno, koristile su se i metode klasifikacije, analize i sinteze. Metode generalizacije, indukcije i dedukcije su korišćene prilikom definisanja pojedinih elemenata u okviru baze podataka. Prilikom definisanja modela za određivanje naletne brzine vozila analizirani su rezultati rada, opažanja i zaključci eksperata iz ove oblasti i isti su korišćeni u toku izrade doktorske disertacije. Statističke i matematičke metode su korišćene u delu gde se formira jedinstven model za predikciju daljine odbačaja tela pešaka i naletne brzine vozila. Metod deskripcije je korišćen u delu u kome je na osnovu intenziteta oštećenja na vozilima koja su učestvovala u saobraćajnim nezgodama sa pešacima formirana ordinalna skala. Na kraju rada je primenjena i komparativna metoda, kojom su testirani modeli formirani u okviru disertacije.

1.4. Prikaz strukture doktorske disertacije po poglavljima

U poglavlju 2 je izvršena klasifikacija naleta vozila na pešake na osnovu položaja pešaka u odnosu na vozilo u trenutku naleta i kretanja tela pešaka nakon naleta.

U okviru poglavlja 3 je opisana kinematika naleta vozila na pešaka u zavisnosti od vrste naleta i prikazani su uticaji visine pešaka i oblika karoserije na kinematiku naleta. Takođe, u okviru ovog poglavlja prikazane su i osnovne trajektorije pešaka nakon naleta vozila.

U poglavlju 4 su prikazani fizički zakoni neophodni za definisanje daljine odbačaja tela pešaka u funkciji naletne brzine vozila. Pored toga, dat je pregled i izvršena analiza postojećih istraživanja u oblasti problematike saobraćajnih nezgoda tipa vozilo-pešak, sa posebnim osvrtom na modele koji definišu brzinu kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka.

U poglavlju 5 je izvršena analiza karakterističnih povreda pešaka u saobraćajnim nezgodama i prikazana je opšte prihvaćena A/S (Abbreviated Injury Scale) vrednosna skala, kojom se vrši gradacija povreda, a koja je poslužila kao ideja za uspostavljanje modela za utvrđivanje naletne brzine vozila zasnovane na skaliranju intenziteta oštećenja na njima.

U poglavlju 6 je objašnjen mehanizam nastanka oštećenja na vozilima prilikom naleta na pešake i izvršeno je skaliranje vidljivih oštećenja na njima na osnovu ekspertiza realnih saobraćajnih nezgoda i podataka iz elektronske baze podataka o oštećenjima na vozilima (EES katalog). Detaljno je objašnjen postupak prebacivanja deskriptivnog opisa oštećenja na vozilima u ordinalnu skalu koja je korišćena u formiranju modela.

Poglavlje 7 opisuje područje istraživanja i metode koje su korišćene prilikom formiranja baze podataka. U ovom poglavlju su opisani matematički i statistički pojmovi koji su korišćeni prilikom definisanja modela koji su predmet rada, kao i testiranja istih. U ovom poglavlju su objašnjeni svi prediktivni elementi, na osnovu kojih su formirane baze podataka.

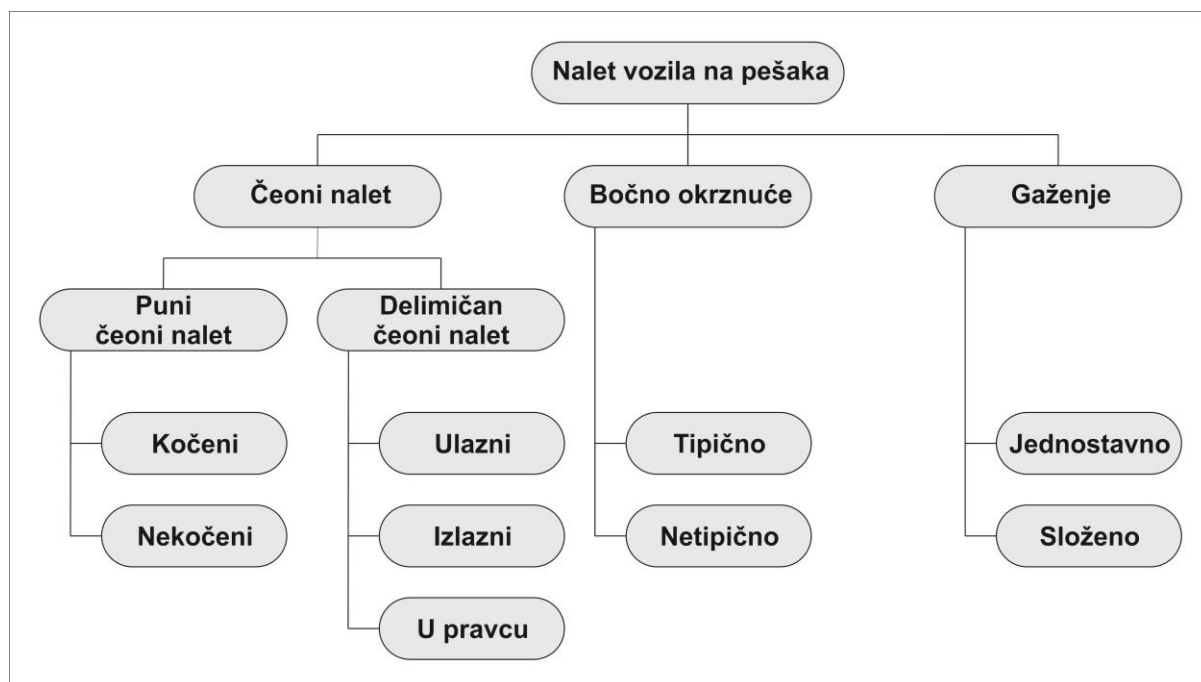
Postupak formiranja modela za utvrđivanje daljine odbačaja tela pešaka nakon kontakta sa vozilom je prikazan u okviru poglavlja 8. U ovom poglavlju je data faktorska analiza i korelacione matrice, na osnovu kojih je definisano koji od prediktivnih elemenata treba da budu uključeni u model. Analizirani su pojedini modeli, a na osnovu statističkih parametara je utvrđen optimalan model za predikciju daljine odbačaja tela pešaka nakon naleta vozila. Na kraju poglavlja su prikazani rezultati testiranja modela.

U okviru poglavlja 9 je prikazan postupak formiranja modela za utvrđivanje brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka na osnovu oštećenja na njima. Kao i u prethodnom poglavlju, na samom početku definisani su prediktivni elementi, koji bi mogli definisati najbolji model i to primenom faktorske analize i koeficijenata korelacije između elemenata. Na osnovu izabranih prediktivnih elemenata, analizirani su modeli, a na osnovu najboljih statističkih parametara izdvojen je krajnji model za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka. Nakon utvrđenog modela izvršeno je testiranje, a rezultati su prikazani na kraju poglavlja.

U poglavlju 10 istaknuti su osnovni rezultati analize istraživanja koje je sprovedeno u okviru ove doktorske disertacije, odnosno prednosti i nedostaci utvrđenih modela za predikciju daljine odbačaja tela pešaka i brzine kretanja vozila u trenutku naleta na osnovu analize oštećenja na njima. Pored toga, istaknuti su i pravci daljih istraživanja usmereni ka poboljšanju definisanih modela.

2. KLASIFIKACIJA NALETA VOZILA NA PEŠAKE

Osnovna podela saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka je zasnovana na položaju pešaka u odnosu na vozilo u trenutku primarnog kontakta. Od ovog položaja zavisi čitava kinematika naleta, odnosno način na koji će gornji delovi tela ostvariti kontakt sa vozilom, kao i na koji način i po kojoj putanji će se telo pešaka odvojiti od vozila. Iz tog razloga, položaj pešaka u odnosu na vozilo ima direktan uticaj na primenljivost, odnosno neprimenljivost pojedinih izraza za proračun naletne brzine vozila. Prikaz tipova saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka u zavisnosti od kontaktnog položaja pešaka je dat na slici 2.1



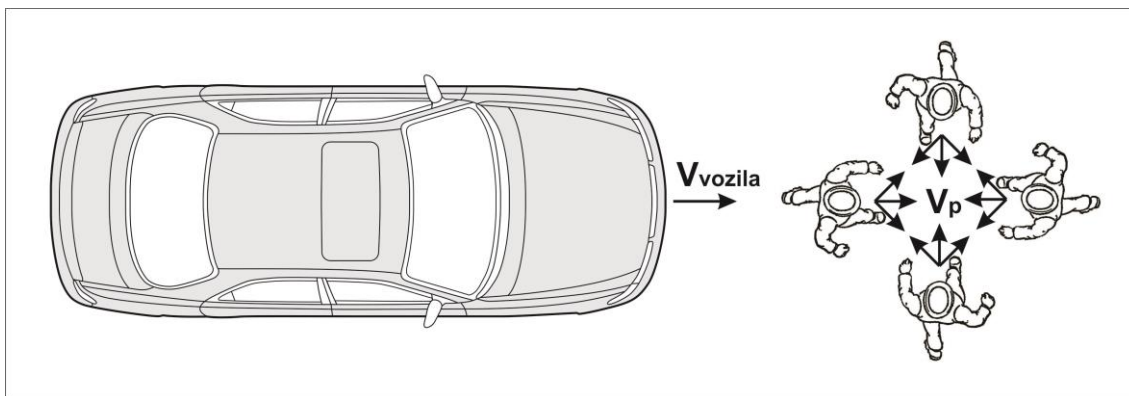
Slika 2.1 Klasifikacija saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka

2.1. Čeoni nalet vozila na pešaka

Pod čeonim naletom vozila na pešaka se smatra svaki nalet u kome se telo pešaka u trenutku primarnog kontakta u potpunosti ili delimično nalazi u okviru gabarita prednjeg ili zadnjeg dela vozila. U zavisnosti od toga da li se figura pešaka u trenutku kontakta nalazi u potpunosti ili delimično u profilu vozila, čeoni naleti se dele na potpune i delimično čeone nalete.

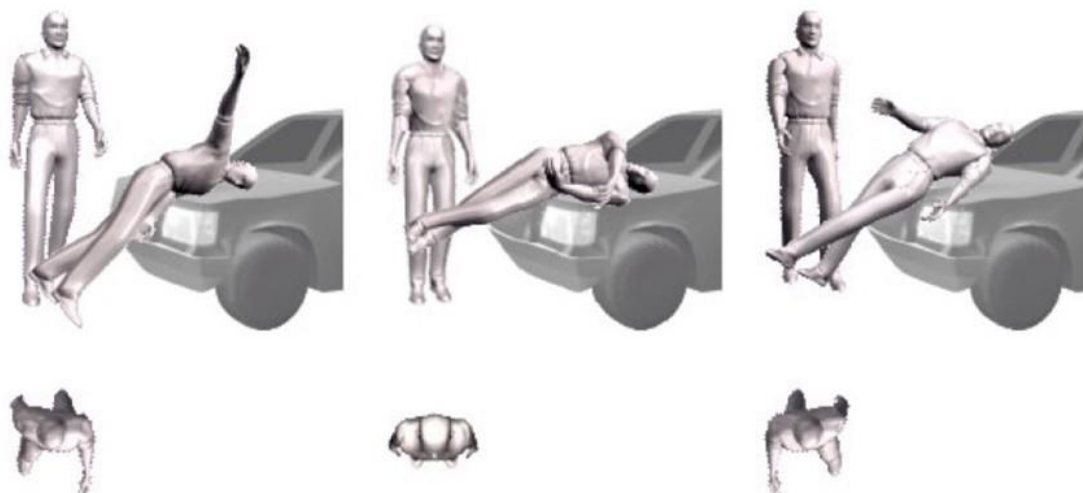
2.1.1. Potpuni čeoni nalet vozila na pešaka

Kod potpunog čeonog naleta čitavo telo pešaka se nalazi ispred vozila, a unutar njegovih gabarita. Položaj tela pešaka u odnosu na nailazeće vozilo može biti pod svim uglovima, u odnosu na uzdužnu osu vozila ([Gábor, 2004](#)).



Slika 2.2 Potpuni čeoni nalet vozila i pešaka

Nakon primarnog kontakta, koji se najčešće ostvaruje između najisturenijeg dela na čeonj strani vozila, odnosno branika, i noge pešaka koja je bliža vozilu, sledi sekundarni kontakt u kome gornji delovi tela pešaka ostvaruju kontakt sa poklopcem motora, vetrobranskim staklom ili krovom vozila. Na koji način, odnosno kojim delom tela će pešak ostvariti sekundarni kontakt sa gornjim delovima vozila u najvećoj meri zavisi od položaja pešaka u odnosu na vozilo u trenutku primarnog kontakta. Ukoliko je pešak u trenutku primarnog kontakta bočno okrenut ka vozilu, kontakt sa iskoračnom nogom će dovesti do njegove rotacije ka leđnom, odnosno zadnjem delu tela, dok će kontakt sa zaostalom nogom prouzrokovati rotaciju tela pešaka ka njegovom prednjem delu ([Gábor, 2004](#)).

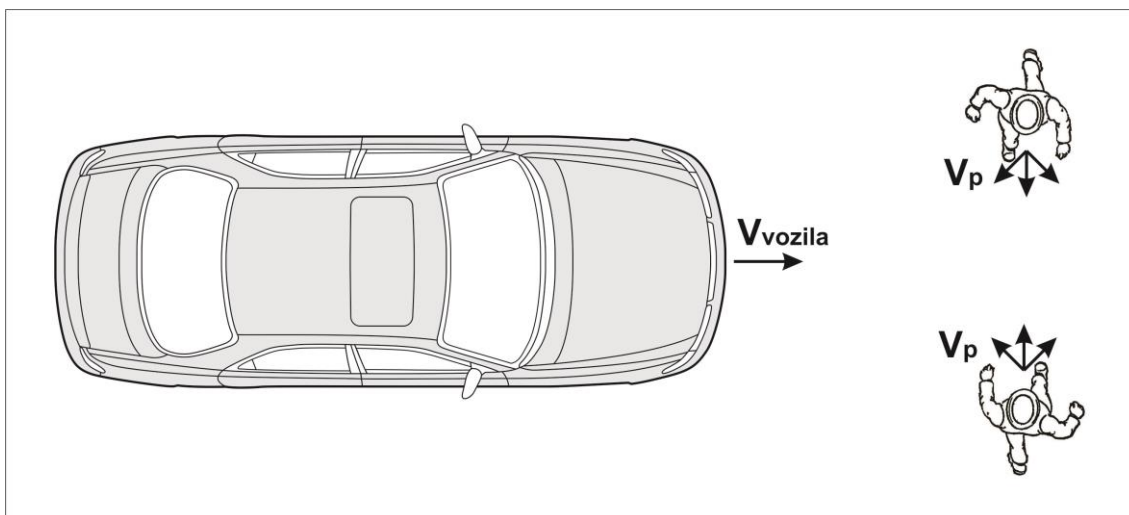


Slika 2.3 Uticaj položaja pešaka u odnosu na vozilo na njegovo kretanje nakon primarnog kontakta

2.1.2. Delimično čeoní nalet vozila na pešaka

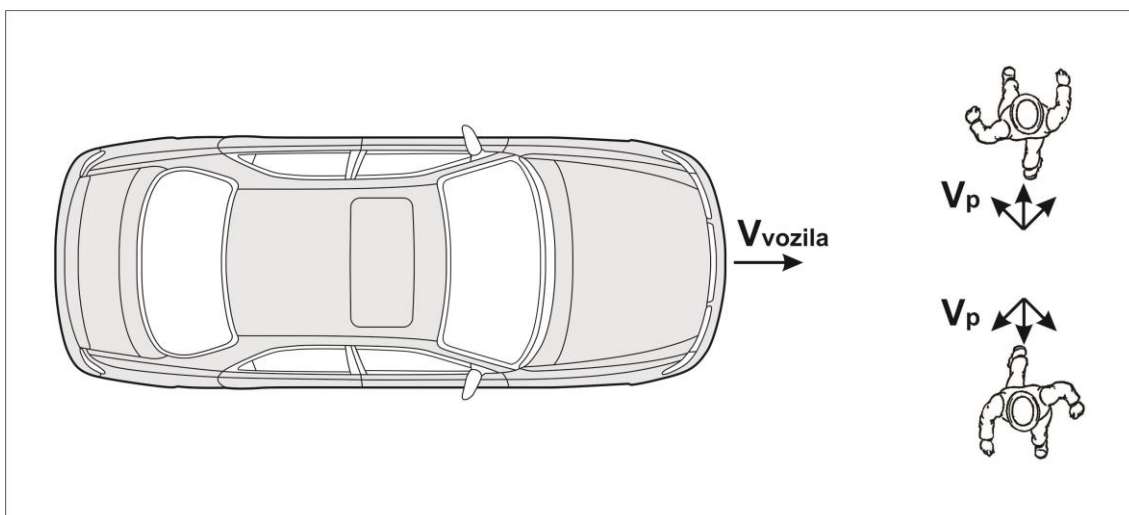
Kod delimično čeonog naleta, telo pešaka se u trenutku primarnog kontakta samo delimično nalazi unutar gabarita vozila, tako da se primarni kontakt ostvaruje sa njegovom iskoračnom ili zaostalom nogom. S obzirom na specifičan položaj pešaka u odnosu na vozilo, ovakav kontakt za posledicu najčešće ima intenzivnu rotaciju tela pešaka. Kako se kod delimično čeonih naleta samo jedan deo tela pešaka nalazi unutar gabarita vozila, ono ne poprima u potpunosti naletnu brzinu vozila, već samo jedan njen deo ([Bogdanović et al., 2009](#)). Na osnovu pravca i smera brzine pešaka u odnosu na podužnu osu vozila, delimično čeoní naleti mogu biti ulazni, izlazni i u pravcu.

Ulazni delimično čeoní nalet je tip naleta u kome pešak ulazi u putanju kretanja vozila sa strane i biva zahvaćen najbližim prednjim uglom vozila u najistureniji deo tela, često samo u iskoračnu nogu (slika 2.4). Nakon primarnog kontakta, telo pešaka biva zarotirano oko vertikalne ose uz bok vozila, pri čemu nastaju karakteristična oštećenja i tragovi kontakta na bočnoj strani vozila, u predelu prednjeg blatobrana, stuba ili prednjih vrata. Kao posledica inercije usled prethodnog kretanja pešaka, gornji deo tela pešaka se naginje preko blatobrana nad poklopcem motora, tako da može doći do kontakta tog dela tela sa vetrobranskim staklom. Kod delimično čeonih naleta, često izostaje nabačaj tela pešaka na prednji deo vozila, tako da udarni impuls ne poprima čitava masa tela. Kao posledica ovakvog naleta, daljina odbačaja tela pešaka je znatno kraća nego kod potpunog čeonog naleta, tako da se telo pešaka uvek zaustavlja iza linije prednjeg dela vozila u zaustavnoj poziciji i sa one strane sa koje je pešak prilazio vozilu.



Slika 2.4 Ulazni delimično čeonu nalet vozila na pešaka

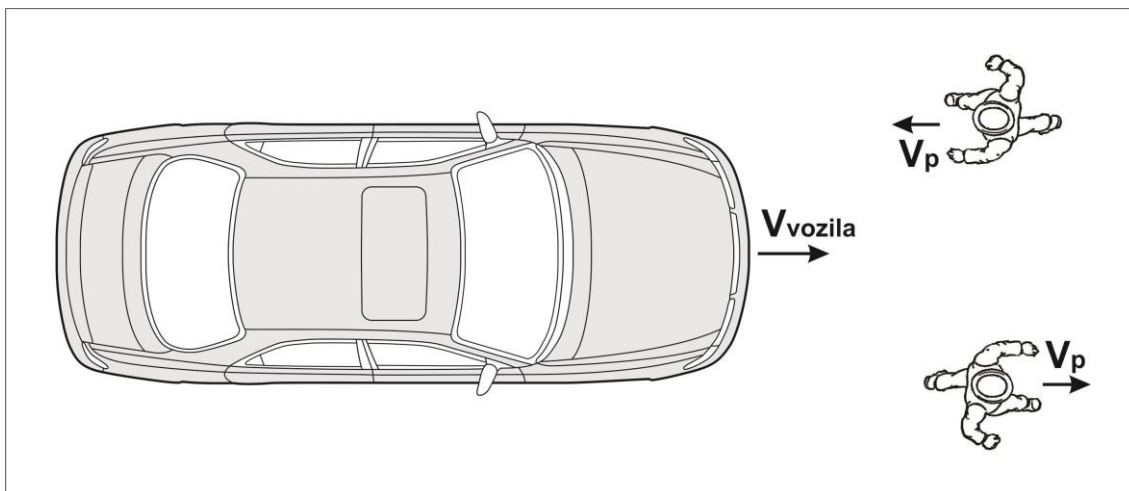
Kod izlaznih delimično čeonih naleta, pešak izlazi iz zone zahvatanja čeonog dela vozila, tako da se jedan deo tela nalazi izvan gabarita vozila. Kod ovakvih naleta primarni konakt se ostvaruje između jednog od prednjih uglova vozila i onog dela tela pešaka koji se još nalazi ispred i unutar gabarita vozila, a to je najčešće zaostala noga (slika 2.5). Nakon kontakta sa vozilom, telo pešaka poprima samo delimičnu rotaciju oko vertikalne ose. U kontaktu sa vozilom, telu se saopštava znatno manji impuls, tako da ono pada na kolovoz i zaustavlja se u neposrednoj blizini mesta kontakta. Kao i kod ulaznog tipa, i kod ovog tipa kontakta vozila i pešaka, telo pešaka će se zaustaviti iza linije prednjeg dela vozila u zaustavnoj poziciji, i to sa one strane vozila, čijim prednjim delom je kontakt ostvaren.



Slika 2.5 Delimično čeonu izlazni nalet vozila na pešaka

Delimično čeonu nalet u pravcu je vrsta saobraćajne nezgode kod koje vozilo krajnjim prednjim uglom zahvata samo deo tela pešaka, koji stoji ili se kreće u istom ili suprotnom smeru kao i vozilo (slika 2.6). Nakon primarnog kontakta sa vozilom, telo pešaka biva samo delimično nabačeno na vozilo, uz istovremenu rotaciju uz njegovu bočnu stranu. Kod ovog tipa kontakta vozila i pešaka, može doći do delimičnog nabacivanja tela pešaka na prednji deo vozila, ali će izostati faza podizanja tela pešaka u vis, iz razloga što težište tela ima tendenciju spuštanja na dole, već od samog trenutka primarnog kontakta sa vozilom. Kontakt tela pešaka

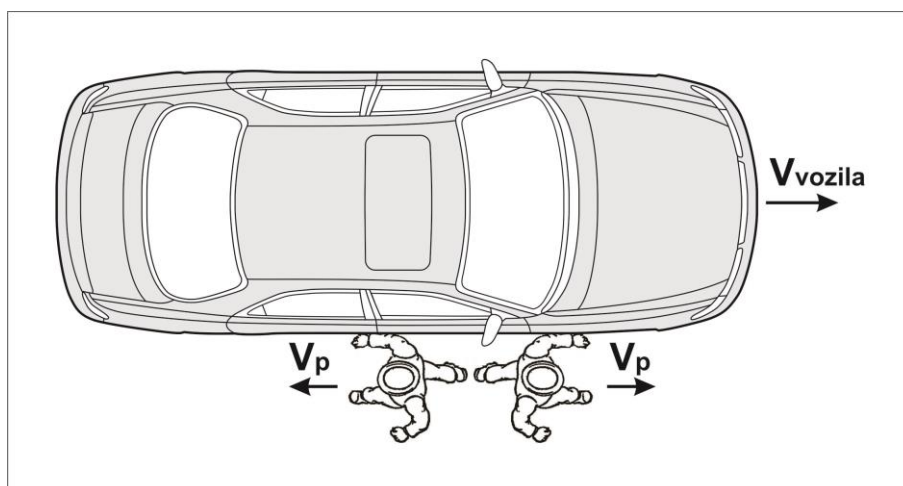
sa podlogom, koji sledi u završnoj fazi, znatno je blaži iz razloga što telo ne biva odbačeno u vis tako da pada sa manje visine. Iz tog razloga, kod ovog tipa naleta su i povrede pešaka često manjeg intenziteta.



Slika 2.6 Delimično čeonu nalet na pešaka u pravcu

2.2. Bočno okrznuće

Naleti na pešake tipa bočnog okrznuća su retki i obično su bez težih posledica. Bočno okrznuće je tip naleta u kome telo pešaka kontaktira isključivo sa bočnom stranom vozila (slika 2.7). Prilikom ovog tipa kontakta, telo pešaka biva zarotirano oko vertikalne ose, pri čemu nakon toga može ali ne mora i dalje biti u kontaktu sa bokom vozila. Postoje dve vrste okrznuća: tipično i netipično.



Slika 2.7 Bočno okrznuće vozila i pešaka

Kod tipičnog bočnog okrznuća, vozilo se kreće u pravcu, a pešak mu prilazi sa strane i ostvaruje kontakt sa bočnim delom vozila, nakon što je prednji deo vozila već prošao pored njega. Do bočnog okrznuća može doći i kada se pešak kreće paralelno sa pravcem kretanja vozila, u istom ili suprotnom smeru ([Bogdanović et al., 2009](#)).

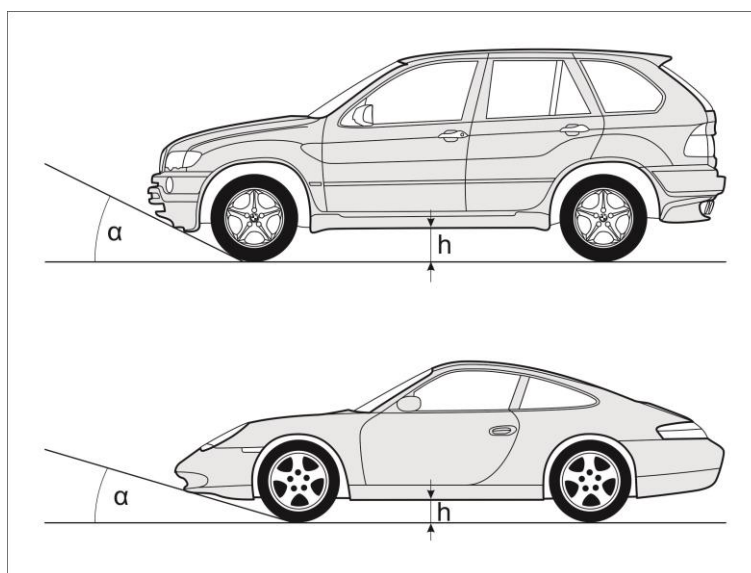
Netipično bočno okrznuće nastaje u slučajevima kada pešak, koji stoji ili se kreće paralelno sa smerom kretanja vozila, bude kontaktiran nekim od isturenih delova sa bočnih strana vozila, kao što su bočno vozačko ogledalo, otvoreno leptir staklo, tovarni sanduk teretnog vozila ili prikolice i dr. ([Bogdanović et al., 2009](#)). U ovakvim slučajevima, telo pešaka najčešće biva odgurnuto ili odbačeno sa spoljne strane vozila, dok na samom vozilu ne nastaju značajna oštećenja ([Gábor, 2004](#)).

2.3. Gaženje

Gaženje je vrsta saobraćajne nezgode kod koje vozilo prelazi preko ili iznad tela pešaka koji je u ležećem položaju. Pod pregaženjem se podrazumeva slučaj kada bar jedan točak vozila pređe preko tela pešaka ili kada donji delovi vozila prelazeći iznad pešaka prouzrokuju povrede pešaka. Najveći uticaj na kinematiku kretanja pešaka tokom nezgode, prilikom gaženja od strane vozila, imaju sledeći elementi ([Papić et al., 2009](#)):

- klirens vozila,
- prilazni ugao,
- režim kretanja vozila,
- položaj pešaka na kolovozu.

Pod klirensom se smatra najkraće rastojanje između ravni podloge i ma kod dela na vozilu, izuzev onih delova kojima se ostvaruje kontakt sa podlogom, kao što su pneumatiki, gusenice ili skije (Slika 2.88). Vozila sa većim klirensom imaju i više težište u odnosu na ravan podloge, što značajno smanjuje njihovu stabilnost, ali im olakšava kretanje na neravnim terenima. Veći klirens utiče i na aerodinamičke karakteristike vozila.



Slika 2.8 Klirens i prilazni ugao na vozilima BMW X5 i Porsche Carrera

Prilazni ugao je ugao koji ravan podloge, na kojoj se nalazi potpuno opterećeno vozilo, zaklapa sa zamišljenom ravni, koja bi tangirala prednje pneumatike i najistureniju tačku na prednjem delu vozila (slika 2.8). Kod naleta vozila sa malim prilaznim uglom na pešaka u ležećem položaju, pri manjim brzinama kretanja, dolazi do odbačaja ili potiskivanja tela unapred. Kod većih brzina kretanja vozila, udarni impuls koji deluje u tački primarnog kontakta

može dovesti do odizanja prednjeg dela vozila i prelaska prednjih točkova preko tela pešaka. U ovoj situaciji, postoje dve varijante. Prva je da vozilo i zadnjim točkovima pređe preko tela pešaka, što zavisi od položaja koje je telo zauzelo nakon prelaska prednjih točkova preko njega. Druga mogućnost je da vozila sa nižim klirensom mogu i donjim postrojem ili zadnjim točkovima, potiskivati telo pešaka sve do zaustavljanja vozila. Vozila sa većim prilaznim uglom, po pravilu imaju i veći klirens, te je mogućnost prelaska i prednjih i zadnjih točkova preko tela pešaka u ležećem položaju, mnogo veća.

Tabela 2.1 Prosečne vrednosti parametara prohodnosti po kategorijama vozila

Parametri prohodnosti	Kategorija vozila		
	Putnički automobil	Teretna vozila	Autobusi
Klirens (mm)	150-230	220-350	220-300
Prilazni ugao (°)	20-30	40-60	10-40

Izvor: [\(Papić et al., 2009\)](#)

Kod forsirano kočenih vozila dolazi do blokiranja točkova, tako da u ovim slučajevima naleta na pešaka u ležećem položaju, prednji deo vozila može preći preko tela pešaka, ali ono biva potiskivano od strane prednjih točkova, sve do zaustavne pozicije vozila. S druge strane, u slučaju da prednji točkovi nisu blokirani (rotiraju se), nakon prelaska prednjeg dela vozila preko tela pešaka, može doći i do njegovog pregaženja prednjim točkovima vozila.

Pored navedenog, na kinematiku kretanja pešaka prilikom gaženja od strane vozila utiče i njegov položaj u odnosu na vozilo u trenutku kontakta, koji može biti: ležeći na leđima, na trbuhu, na boku – delimično i na boku – potpuno. Ovaj element je bitan zbog visine najisturenijih delova pešaka, mereno od ravni kolovoza do njihove pozicije, kao i površine koje telo zauzima u kontaktu sa podlogom.

S obzirom na način na koji nastaje mogućnost da telo bude pregaženo, postoji jednostavno i složeno gaženje. Kod jednostavnog gaženja, pešak prethodno nije ostvario kontakt sa vozilom, odnosno ovaj tip nezgode nastupa kada pešak, koji se nalazi na kolovozu, u ležećem položaju, biva pregažen od nailazećeg vozila. Postoji više razloga iz kojih se pešak u trenutku nezgode može naći u ležećem položaju, a to su: uticaj alkohola, droga i sl., bolesna stanja, pad zbog klizavog kolovoza, učešće u prethodnoj nezgodi i sl. Ukoliko vozilo prvo naleti na pešaka, a zatim ga pregazi, radi se o složenom gaženju.

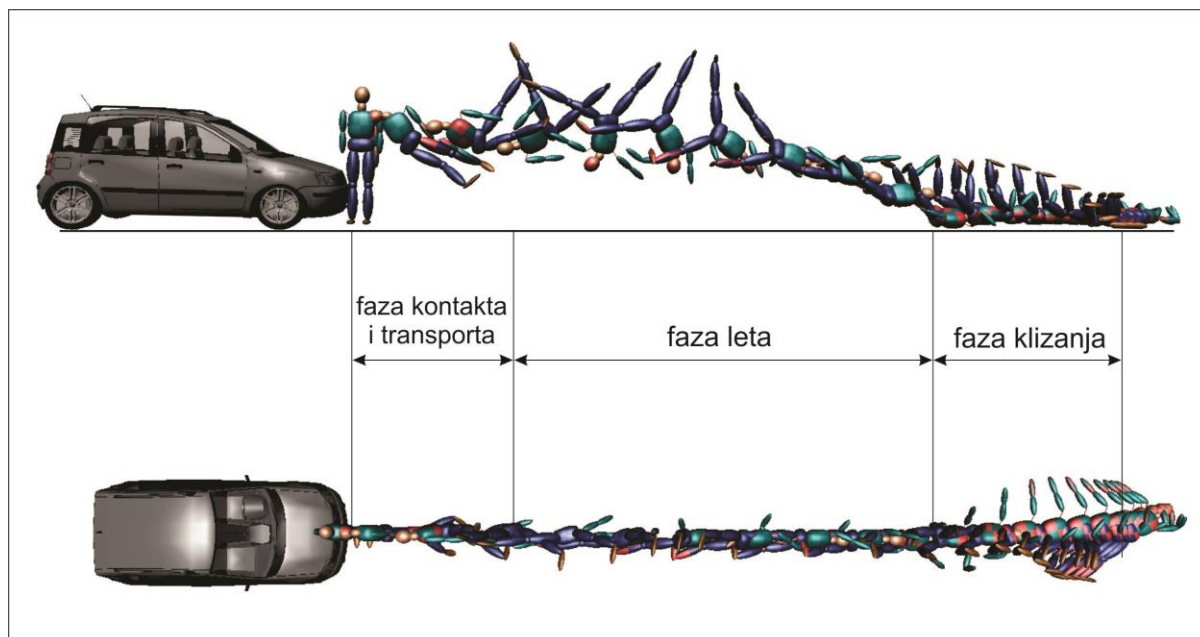
3. KINEMATIKA NALETA VOZILA NA PEŠAKA

Nakon uspostavljanja primarnog kontakta između vozila i pešaka, telo pešaka nastavlja nekontrolisano kretanje prouzrokovano dejstvom udarnih sila. Način na koji će se telo pešaka kretati nakon primarnog kontakta zavisi od više parametara, kao što su brzina vozila, brzina pešaka, oblik karoserije vozila, visina pešaka, položaj pešaka u odnosu na vozilo, režim kretanja vozila i dr. Kinematika naleta vozila na pešaka podrazumeva kretanje vozila i pešaka od trenutka primarnog kontakta do konačnog zaustavljanja. Zbog svojih specifičnosti, kinematika naleta na pešaka se može analizirati na osnovu eksperimentalnih istraživanja na fizičkim modelima pešaka na posebno opremljenim poligonima (crash testovi), analizom video zapisa realnih saobraćajnih nezgoda ili primenom specijalizovanih računarskih programa za simulaciju i rekonstrukciju saobraćajnih nezgoda.

3.1. Kretanje tela pešaka nakon naleta

Sa hronološkog aspekta, kretanje tela pešaka se može opisati kroz tri karakteristične faze ([Limpert, 1999](#); [Eubanks & Haight, 1992](#)):

- faza kontakta i transporta,
- faza leta
- faza klizanja (slika 3.1).



Slika 3.1 Karakteristične faze kretanja tela pešaka nakon kontakta sa vozilom

3.1.1. Faza kontakta i transporta

Faza kontakta i transporta se može podeliti na dve podfaze ([Soica & Tarulescu, 2016](#)):

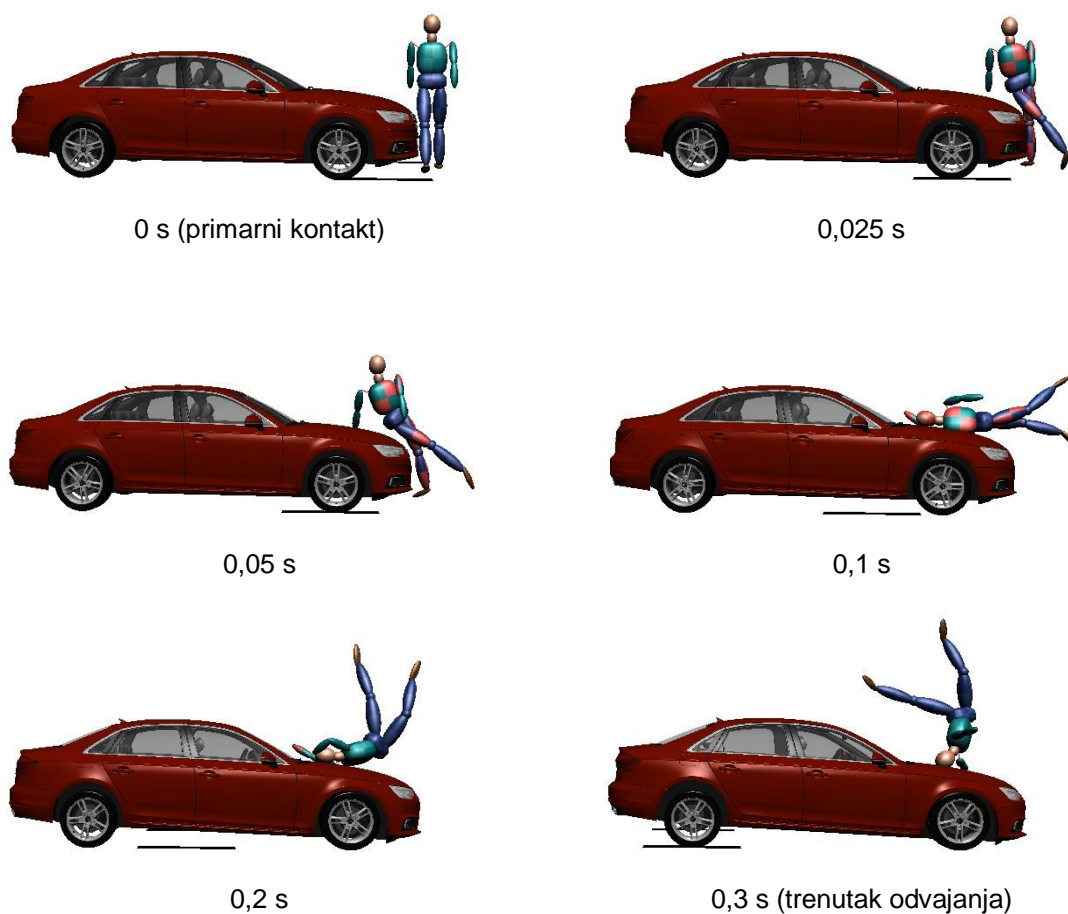
- podfaza 1 – koja traje od trenutka primarnog kontakta do trenutka kontakta glave/torza pešaka sa poklopcem motora/vetrobranskim staklom vozila;
- podfaza 2 – koja traje od trenutka kontakta gornjih delova tela pešaka sa poklopcem motora/vetrobranskim staklom, do trenutka njegovog odvajanja od vozila. Druga podfaza se naziva i faza transporta pešaka na poklopcu motora.

U toku faze kontakta i transporta, niz pokreta tela pešaka se može opisati kroz sledeće odvojene radnje ([Burg & Moser, 2007](#)):

- primarni kontakt (kontakt sa potkolenicom),
- efekat potiskivanja stopala i potkolenice na dole, uz rotaciju u zglobu,
- rotaciono kretanje čitavog tela preko prednjeg dela vozila i opterećenje kolena,
- kontakt sa natkolenicom ili karlicom praćen nabačajem pešaka na vozilo,
- kontakt gornjeg dela tela i glave sa poklopcem motora i prednjim vetrobranskim staklom,
- kontakt sa krovom vozila čitavim telom ili samo sa pojedinim delovima tela,
- odvajanje pešaka od vozila.

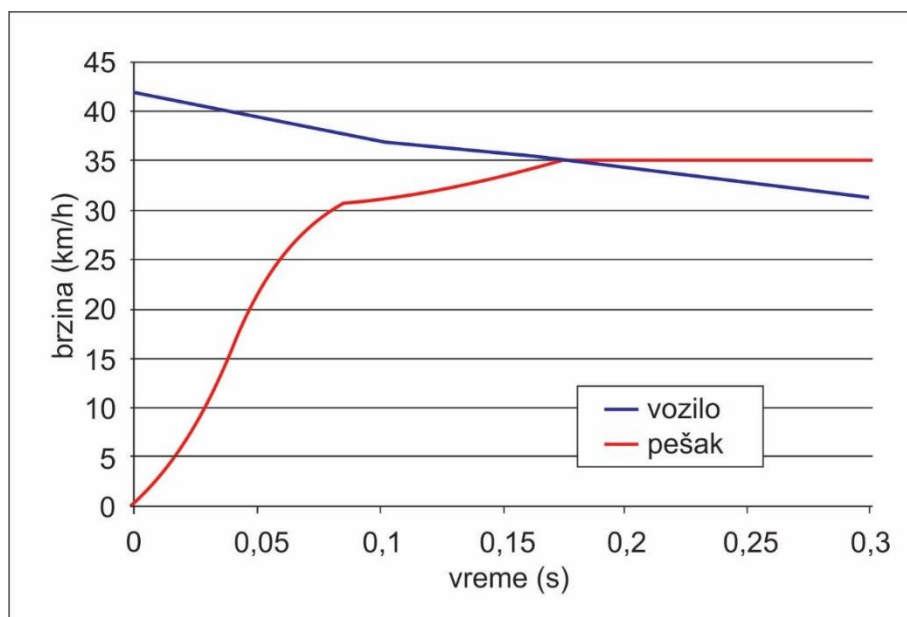
Primarni kontakt ($t=0$ ms) obično se ostvaruje između najisturenijeg dela na prednjem delu vozila, odnosno branikom i donjeg dela noge, odnosno potkolenice pešaka (ukoliko se radi o odrasloj osobi). Tačna pozicija mesta primarnog kontakta zavisi od vrste i oblika karoserije vozila kao i od visine pešaka ([Burg & Moser, 2007](#)). Ukoliko udarna sila u primarnom kontaktu deluje ispod težišta pešaka, uslediće rotacija tela pešaka oko

horizontalne težišne ose (gornjim delom tela prema vozilu). Intenzitet ove rotacije zavisice od rastojanja između mesta primarnog kontakta i težišta pešaka, sile trenja na kontaktnoj površini između nogu pešaka i podloge i naletne brzine vozila. Zbog inercije i elastičnosti delova tela, rotacija počinje nekoliko milisekundi nakon trenutka primarnog kontakta, pri čemu se telo pešaka previja preko prednjeg dela vozila, a njegovi gornji delovi, odnosno torzo, ruke i glava ostvaruju kontakt sa poklopcem motora, vetrobranskim staklom ili ivicom krova. Elliott ([Elliott et al., 2012](#)) je na osnovu istraživanja na MADYMO modelima pešaka, utvrdio da se brzina udara glave pešaka o vozilo povećava sa brzinom kretanja vozila u trenutku kontakta, a u velikoj meri je nezavisna od brzine kretanja pešaka.



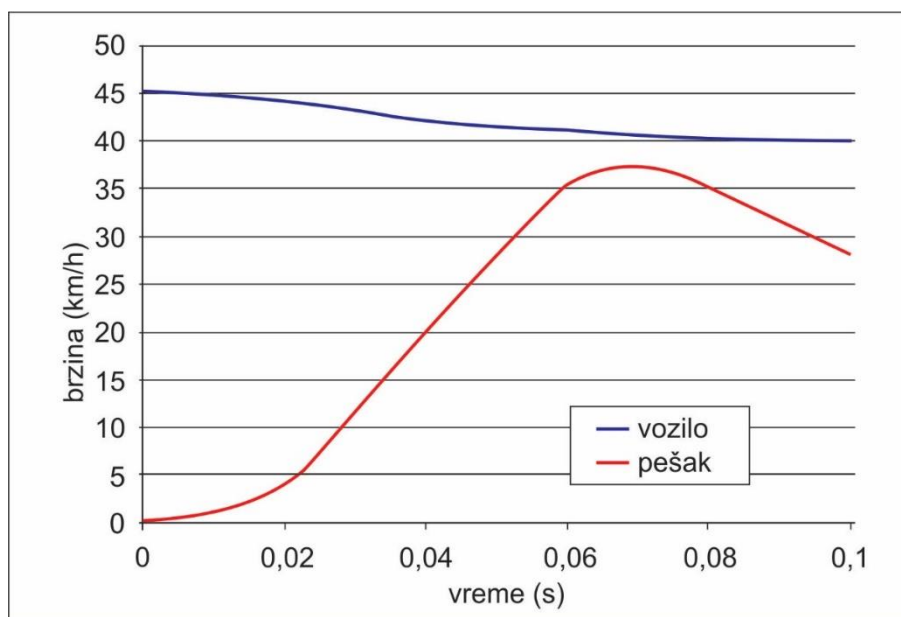
Slika 3.2 Prikaz kinematike naleta na pešaka tokom faze kontakta i transporta

Kod kočenih naleta vozila na pešaka, neposredno nakon naleta brzina pešaka se naglo povećava i izjednačava se sa brzinom kretanja vozila, na oko 0,2 s nakon trenutka primarnog kontakta, a nakon toga, tokom faze leta, ona ostaje gotovo nepromenjena, dok brzina vozila opada. Zbog ove činjenice, usled dejstva inercionih sila, dolazi do odvajanja tela pešaka od vozila (slika 3.3).



Slika 3.3 Dijagram brzina vozila i pešaka kod kočenih naleta

Ukoliko vozilo u trenutku naleta nije kočeno ili je usporavano malim intenzitetom usporenja, moguće je da brzina kretanja pešaka ni ne dostigne brzinu vozila (slika 3.4). Kod nekočenih naleta, dužina transporta tela pešaka na vozilu je veća u odnosu na kočene nalete ([Burg & Moser, 2007](#)), daljina odbačaja tela pešaka je u principu veća nego kod kočenih naleta, dok se telo pešaka najčešće zaustavlja iza zadnjeg dela vozila ([Gábor, 2004](#)).



Slika 3.4 Dijagram brzina vozila i pešaka kod nekočenih naleta

3.1.2. Faza leta

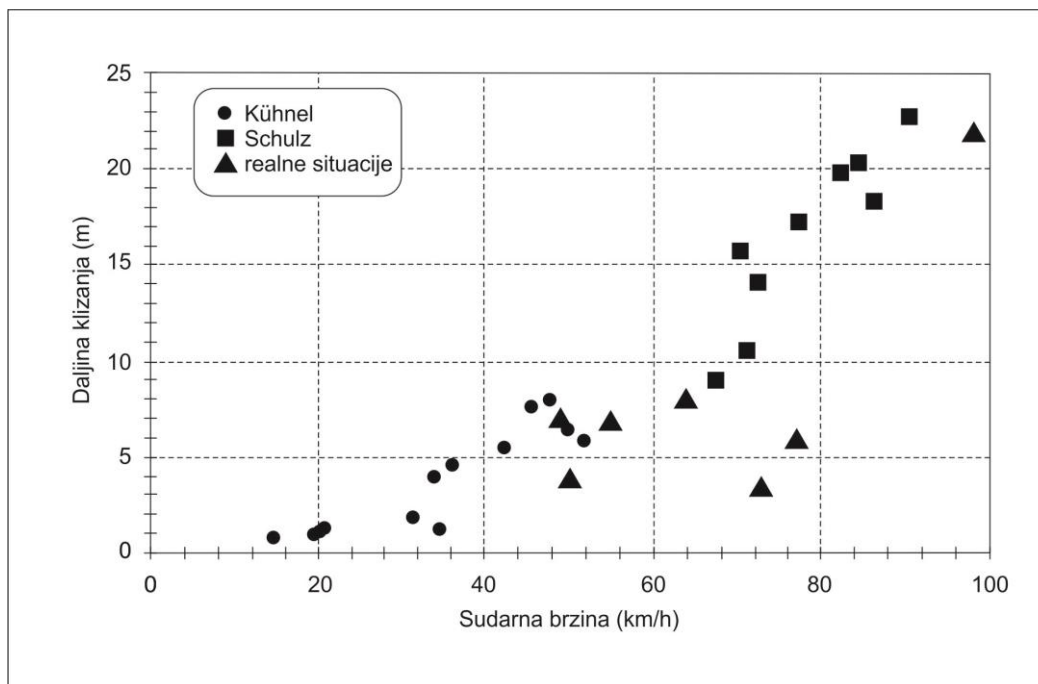
Faza leta počinje u trenutku odvajanja tela pešaka od vozila, a završava se u trenutku prvog kontakta pešaka sa podlogom, odnosno na početku faze klizanja i kotrljanja pešaka. U realnim saobraćajnim nezgodama prvi kontakt tela pešaka sa podlogom se može utvrditi

jedino na osnovu tragova krvi na kolovozu. Trajanje i daljina leta tela pešaka zavise od brzine tela pešaka u trenutku odvajanja od vozila i od ugla odbačaja. Sam ugao odbačaja pešaka je uslovljen oblikom karoserije vozila, odnosno visinom pešaka. Analizom eksperimentalnih testova (crash testovi) sa fizičkim modelima pešaka, utvrđeno je da pri naletnim brzinama vozila u dijapazonu od 33-49 km/h, vreme leta tela pešaka traje 0,45-0,7 s, uz usporenje od 0,75-1,8 m/s² ([Burg & Moser, 2007](#)).

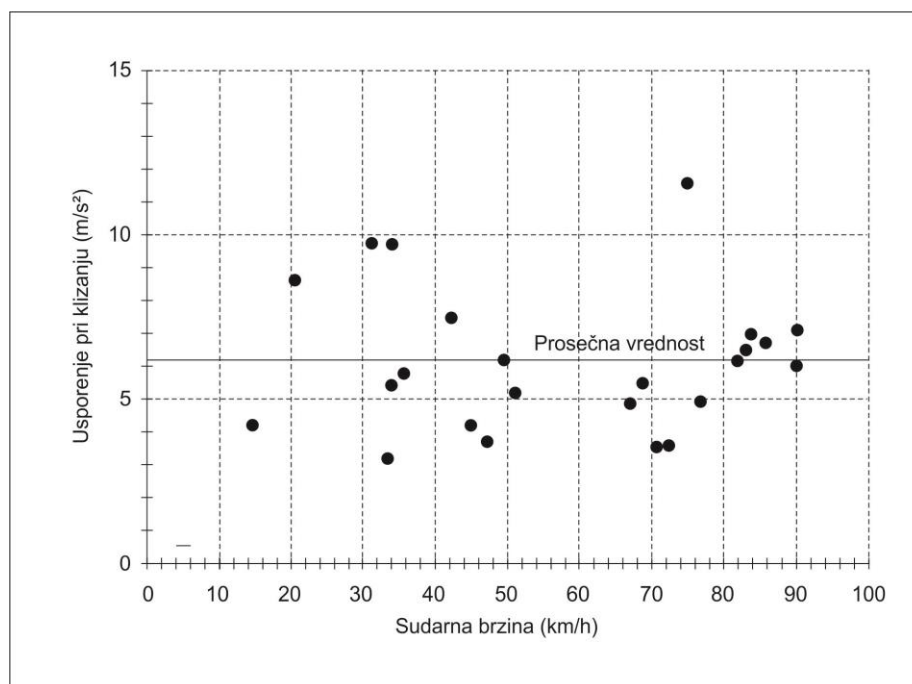
Ukoliko je vozilo kočeno, nakon naleta ono nastavlja da usporava, dok se telo pešaka, usled dejstva inercijalnih sila, odvaja od vozila, tako da najčešće biva zatečeno ispred njegovog prednjeg dela. Analizom testova sa fizičkim modelima pešaka, utvrđeno je da pri naletnim brzinama vozila većim od 75 km/h, telo pešaka biva prebačeno preko krova vozila i zaustavlja se iza vozila. Kod nekočenih naleta vozila na pešaka, do prebačaja tela preko krova vozila može doći i kod naletnih brzina većih od 50 km/h ([Burg & Moser, 2007](#)).

3.1.3. Faza klizanja

Faza klizanja počinje u trenutku kontakta nekog dela tela pešaka sa kolovozom, a završava se u trenutku njegovog konačnog zaustavljanja, pri čemu je referentna tačka težište pešaka. Tokom faze klizanja može se dogoditi ponovno kratkotrajno odvajanje tela pešaka od podloge, kao posledica konfiguracije terena ili njegovog specifičnog položaja prilikom kontakta sa podlogom. Trajanje faze klizanja zavisi od brzine tela pešaka pri kontaktu sa podlogom, ugla pod kojim je ostvaren kontakt sa podlogom, vrste i stanja podloge, odeće koju je pešak imao na sebi, postojanja eventualnih prepreka na putu klizanja i sl. U realnim saobraćajnim nezgodama veoma je retko moguće utvrditi mesto prvog kontakta pešaka sa podlogom nakon što je na njega naletelo vozilo, tako da podatak o dužini puta klizanja pešaka u postupku rekonstrukcija saobraćajnih nezgoda najčešće nije dostupan. Na osnovu eksperimentalnih testova na fizičkim modelima pešaka, kao i analiza realnih saobraćajnih nezgoda dokumentovanih video zapisima, utvrđene su određene empirijske zavisnosti koje su prikazane na slikama 3.5. i 3.6 ([Burg & Moser, 2007](#)). Istraživanjima je pokazana jasna funkcionalna zavisnost između naletne brzine i dužine puta klizanja pešaka, dok zavisnost između naletne brzine i usporenja tela pešaka na putu klizanja nije utvrđena.



Slika 3.5 Dužina puta klizanja pešaka u funkciji naletne brzine



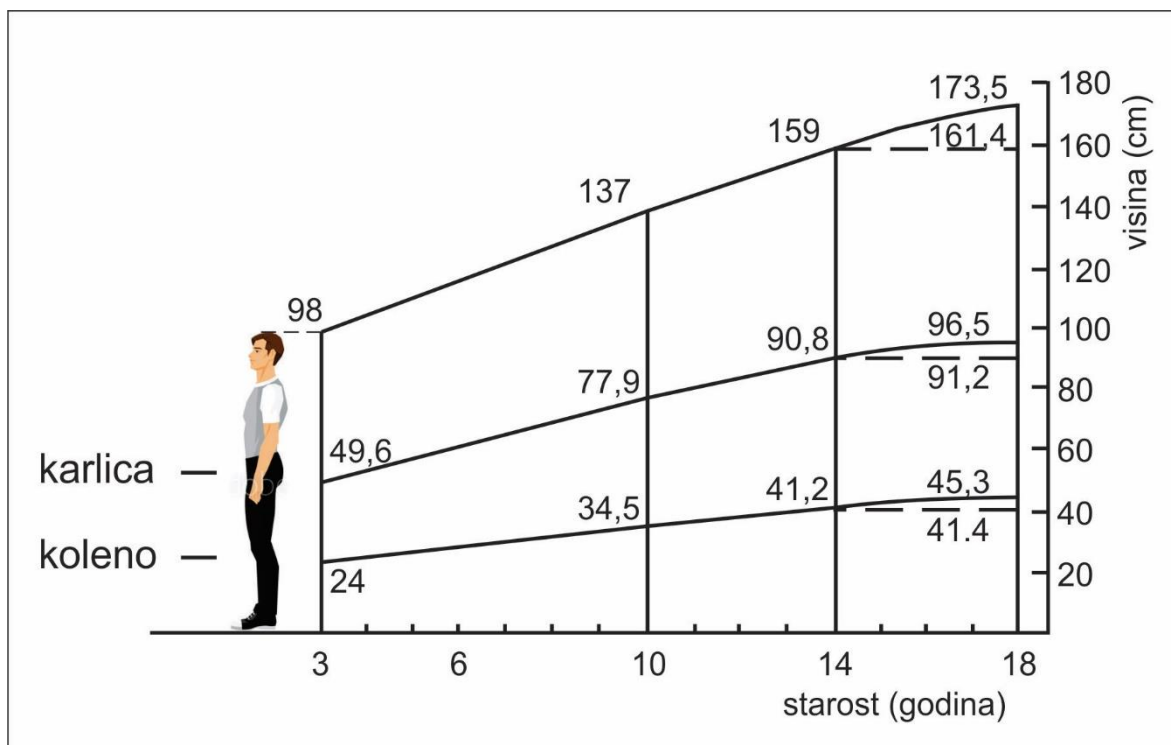
Slika 3.6 Usporenje fizičkih modela pešaka u zavisnosti od naletne brzine

U literaturi su zastupljeni podaci o usporenju tela pešaka na putu klizanja koji se kreću u dijapazonu od 6-10 m/s² (Rotim & Peran, 2011). S druge strane, na osnovu analize sedam testova sa istim fizičkim modelom pešaka i sličnim naletnim brzinama vozila, utvrđena su usporenja pešaka koja su se kretala u granicama od 7,2 - 8,2 m/s², na osnovu čega je utvrđeno da se u zavisnosti od načina udara fizičkih modela pešaka o podlogu, realizuju različita usporenja na putu klizanja, a što dovodi do različitih dužina puta klizanja pri istim sudarnim brzinama (Burg & Moser, 2007).

3.2. Uticaj visine pešaka i oblika karoserije vozila na kinematiku naleta

Kako je prethodno objašnjeno, način na koji će se telo pešaka kretati nakon primarnog kontakta sa vozilom u najvećoj meri zavisi od mesta delovanja udarne sile u odnosu na težište pešaka. To u principu znači da je kretanje pešaka nakon primarnog kontakta uslovljeno visinom pešaka i oblikom karoserije vozila.

Na slici 3.7 su date karakteristične visine pojedinih delova tela pešaka u zavisnosti od godina starosti.



Slika 3.7 Karakteristične visine delova tela pešaka za starosnu dob od 3-18 god.

Težište ljudskog tela se nalazi u nivou drugog sakralnog pršljenja, u preseku tri osnovne ravni: horizontalne, frontalne i sagitalne ([Devedžić & Čuković, 2016](#)), odnosno u visini pupka. Približna visina težišta čoveka u funkciji telesne visine (h), se može utvrditi pomoću sledećih izraza ([Croskey et al., 1922](#)).

$$\text{žene} \quad h_t = 0,554 \cdot h \quad 3.1$$

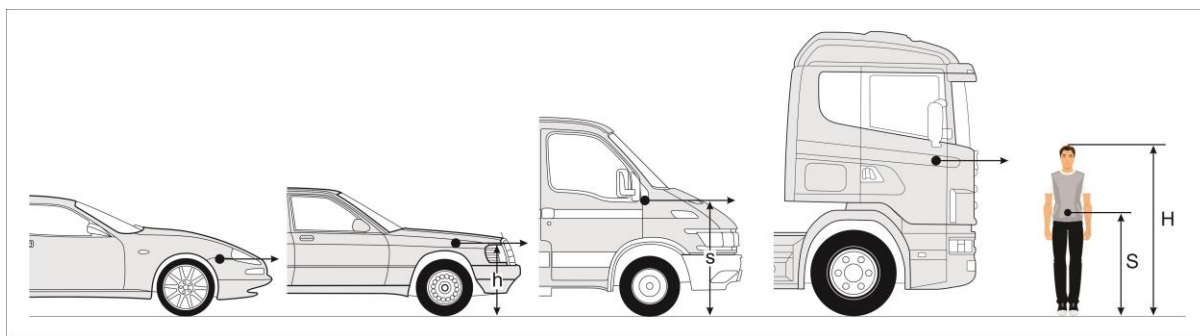
$$\text{muškaraci} \quad h_t = 0,561 \cdot h$$

Jurčević i Muftić analizirali su poziciju težišta ljudskog tela prilikom kretanja različitim brzinama ([Jurčević Lulic & Muftić, 2002](#)). Istraživanjem su ustanovili da se po vertikalnoj osi, pozicija težišta čoveka maksimalno pomera za 2,16% prilikom normalnog hoda, dok se pri trčanju, pozicija težišta maksimalno pomera za 2,20% u odnosu na telesnu visinu.

Karakteristični oblici prednjeg dela vozila koji su relevantni za analizu naleta na pešake su:

- **Klinasti** – poseduju ga sportska vozila sa izraženom aerodinamičnom linijom i niskim težištem. Visina kontaktne površine na prednjem delu vozila je od 0,1-0,3 m;
- **Pontonski** – poseduje ga većina putničkih automobila. Visina kontaktne površine na prednjem delu vozila se obično kreće u rasponu od 0,25-0,75 m, u zavisnosti od konstrukcije branika;
- **Sandučasti** – karakterističan je za terenska i komercijalna vozila. Kod lakih dostavnih i terenskih vozila visina kontaktne površine na prednjem delu vozila se kreće u rasponu od 0,3-1,1 m, dok kod većih teretnih vozila i autobusa, ona obuhvata čitavu visinu tela pešaka.





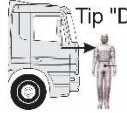
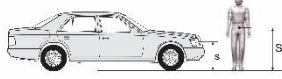
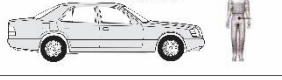
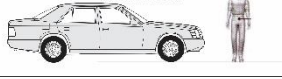
Na slici 3.8 su prikazani karakteristični oblici karoserija vozila i visina delovanja udarnih sila u primarnom kontaktu na odraslog pešaka.



Slika 3.8 Karakteristične dimenzije i oblici karoserija vozila u saobraćajnim nezgodama sa pešacima

Baveći se problematikom naleta vozila na pešake, Kuhnel ([Kühnel, 1980](#)) je definisao parametre koji definišu kinematiku naleta u zavisnosti od oblika karoserije vozila, odnosno: odnos između čeonog dela vozila i visine pešaka (h/H), odnos između visine delovanja udarne sile i visine težišta pešaka (s/S), smer rotacije pešaka nakon primarnog i sekundarnog kontakta, pri čemu je oznakom “+” obeležena rotacija ka vozilu, a oznakom “-”, rotacija od vozila, odnos između brzine udara glave pešaka o vozilo i naletne brzine (V_{ug}/V_s), kao i odnos između brzine odvajanja tela pešaka od vozila i naletne brzine (V_o/V_s). Rezultati istraživanja su prikazani u tabeli 3.1.

Tabela 3.1 Karakteristični parametri pri naletu vozila na pešaka u zavisnosti od oblika karoserije

	Tip "A"	Tip "B"	Tip "C"	Tip "D"
odnos visina 	 $< \frac{1}{2}$	 $\sim \frac{1}{2}$	 ≥ 1	 > 1
tačka kontakta 	< 1	≤ 1	$= 1$	> 1
smer rotacije u primarnom kontaktu 	+	+	+	+
smer rotacije u sekundarnom kontaktu 	+	+	+-	-
$\frac{V_{ug}}{V_s}$	1.0-1.4	0.8-1.2	1	0-1
$K = \frac{V_o}{V_s}$	0.6	0.75	0.8	1.0

Izvor ([Gábor, 2004](#))

U prvom slučaju (Tip A), analiziran je nalet vozila sa klinastim oblikom karoserije na pešaka, pri odnosu visina čeonog dela vozila i pešaka manjem od 0,5. U ovom slučaju, odnos između visine delovanja udarne sile i visine težišta pešaka je manji od 1, a pešak u primarnom i sekundarnom kontaktu rotira ka vozilu, odnosno u smeru suprotnom kretanju kazaljke na satu, tako da do kontakta glave pešaka dolazi u zoni gornjeg dela poklopca motora, vetrobranskog stakla ili krova vozila. Brzina udara glave pešaka o gornje delove vozila može biti ista kao i naletna, ali i za 40% veća od naletne, dok je brzina kojom se telo pešaka odvaja od vozila za 40% manja od naletne brzine.

U drugom slučaju (Tip B) je izvršena analiza kinematike kod naleta vozila sa pontonskim oblikom karoserije na pešaka. Kod ovog tipa naleta, odnos između visine čeonog dela vozila i visine pešaka je nešto manji od 0,5, dok je odnos između visine delovanja udarne sile vozila i visine težišta pešaka manji ili jednak 1. Smer rotacije tela pešaka je i u primarnom i u sekundarnom kontaktu ka vozilu, odnosno u smeru suprotnom kretanju kazaljke na satu, ali je intenzitet rotacije svakako manji nego u prvom slučaju. Glava pešaka po pravilu ostvaruje kontakt sa prednjim vetrobranskim staklom samo pri većim brzinama u odnosu na nalet Tipa A. Udarne brzina glave pešaka o gornje delove vozila može biti 20% veća ali i 20% manja od naletne brzine, dok je brzina odvajanja tela pešaka od vozila za oko 25% manja od naletne brzine.

U trećem slučaju (Tip C) je prikazana analiza naleta lakih komercijalnih (kombi) vozila na pešaka. U ovom tipu naleta visina čeonog dela vozila je približno jednaka ili veća od visine

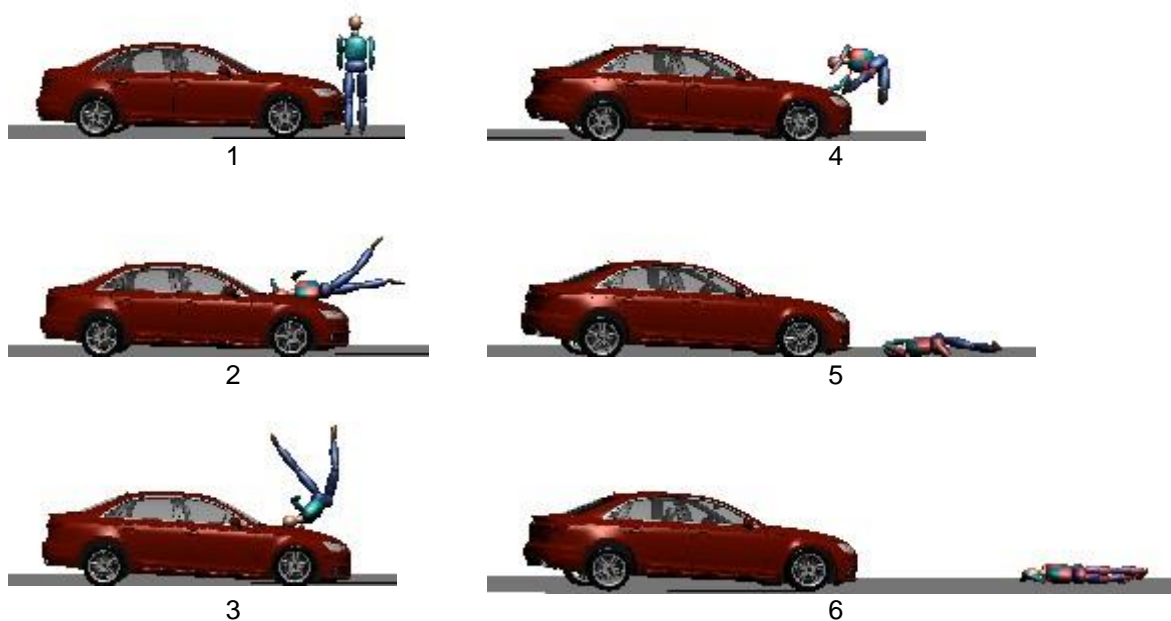
pešaka, dok udarna sila deluje u visini težišta pešaka. U primarnom kontaktu, rotacija tela pešaka je ka vozilu, dok u sekundarnom kontaktu ona može biti i ka vozilu i od vozila, odnosno u smeru kretanja kazaljke na satu. Zbog ove činjenice, telo pešaka ne može biti odbačeno u visinu. Brzina udara glave pešaka o gornje delove vozila je približno jednaka naletnoj brzini, dok je brzina odvajanja tela pešaka od vozila za oko 20% manja od naletne brzine.

U poslednjem slučaju (Tip D), analiziran je nalet vozila sa sandučastim oblikom karoserije na pešaka. Kod ovog tipa naleta, visina čeonice strane vozila je veća od visine pešaka, dok je visina delovanja udarne sile veća od visine težišta pešaka. Zbog ovakvog odnosa u visinama, rotacija tela pešaka u primarnoj fazi će biti ka vozilu, dok će u sekundarnoj fazi ono rotirati od vozila, odnosno u smeru kretanja kazaljke na satu, što za posledicu može imati i gaženje pešaka. Kod ovog tipa naleta, u zavisnosti od oblika prednjeg dela vozila, brzina kontakta glave pešaka sa gornjim delom vozila može biti jednaka naletnoj brzini, ali kontakt sa glavom pešaka može i izostati. Brzina odvajanja tela pešaka od vozila je približno jednaka naletnoj brzini.

3.3. Trajektorije pešaka nakon kontakta sa vozilom

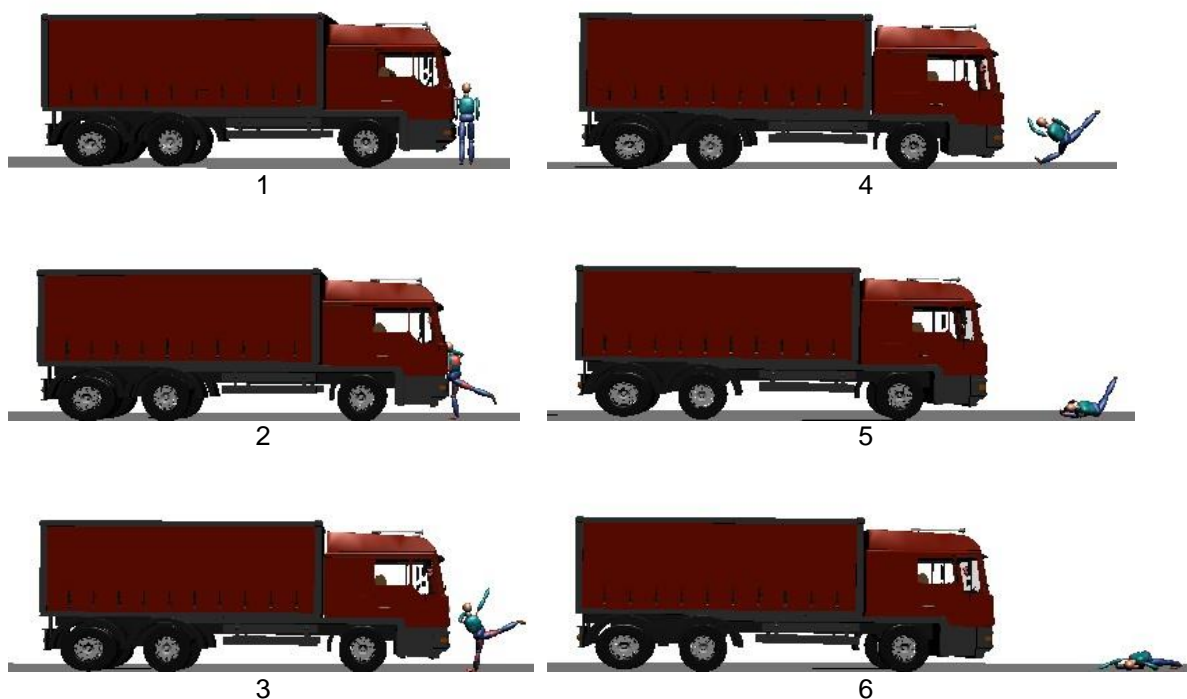
Na osnovu načina kretanja tela pešaka nakon kontakta, Ravani i Brooks su opisali pet osnovnih kinematičkih trajektorija tela pešaka kod čeonih naleta vozila ([Brooks et al., 1987](#); [Fernandes et al., 2018](#); [Ravani et al., 1981](#)). Ova klasifikacija je postala opšte prihvaćena i koristi se za opis kinematike kretanja tela pešaka prilikom kontakta sa vozilom. Iako je identifikovano pet kategorija, u osnovi se razlikuju tri vrste kinematike, sa varijacijama koje su nastale kao rezultat toga da li je vozilo u trenutku naleta bilo kočeno ili ne ([Han & Brach, 2001](#)).

Prvi tip ("*wrap*") predstavlja nalet u kome prednji deo vozila kontaktira sa pešakom u visini ili ispod tačke težišta u situaciji kada je vozilo u trenutku naleta kočeno, dok se pešak u potpunosti nalazi unutar gabarita vozila. Nakon primarnog kontakta, telo pešaka se uvija i rotira ka vozilu, pri čemu gornji delovi tela, odnosno glava i torzo ostvaruju kontakt sa poklopcem motora ili prednjim vetrobranskim staklom. Nakon toga, usled razlike u brzinama, dolazi do odvajanja tela od vozila, tako da ono spada sa vozila i zaustavlja se ispred njegovog prednjeg dela (slika 3.9). Kod manjih brzina kretanja vozila (do 32 km/h), pešak nakon odvajanja od vozila prvi kontakt sa podlogom može ostvariti i nogama ([Field, 2003](#)).



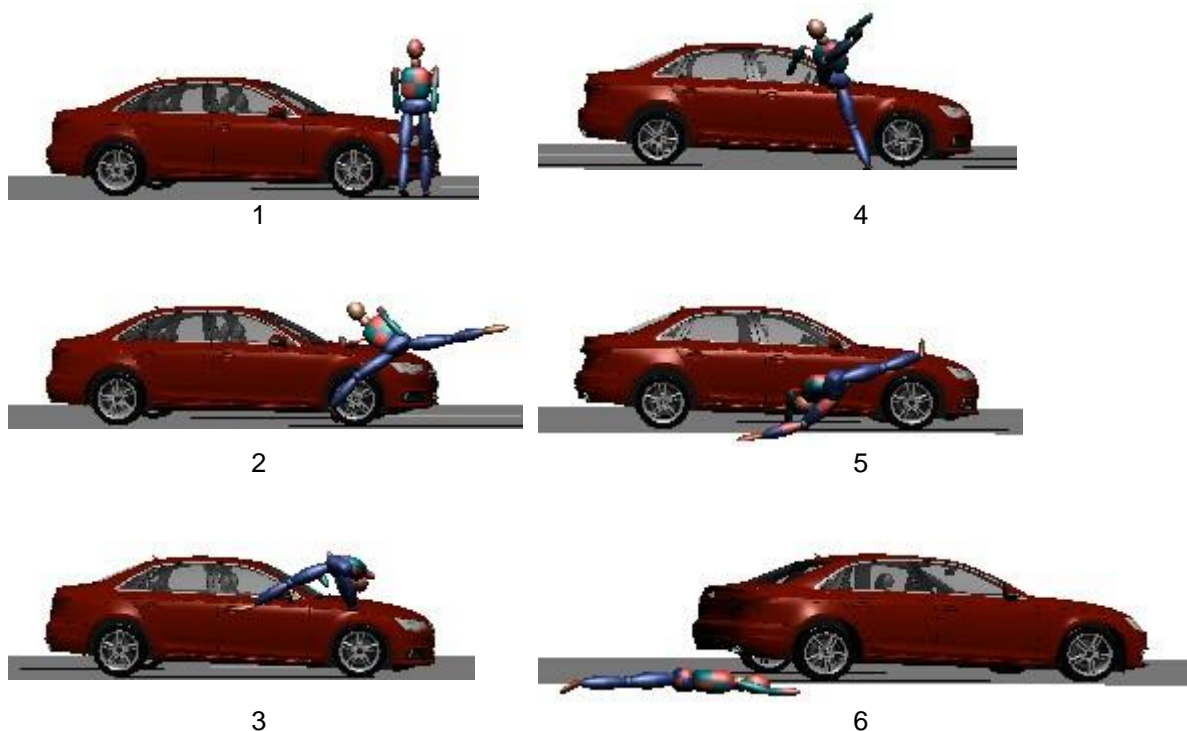
Slika 3.9 Trajektorija tela pešaka za potpuni čeon kočeni nalet ("wrap")

Drugi karakterističan tip trajektorije se odnosi na nalet vozila sa sandučastim oblikom karoserije na pešaka, u kome telo pešaka, zbog delovanja udarne sile iznad težišta, ne biva zarotirano ka vozilu već se odbacuje unapred, ispred vozila (*"forward projection"*), gde kontaktira sa podlogom. U ovu kategoriju spadaju i naleti lakih komercijalnih i terenskih vozila na pešake nižeg rasta, kao i naleti vozila sa pontonskim oblikom karoserije na decu (slika 3.10).



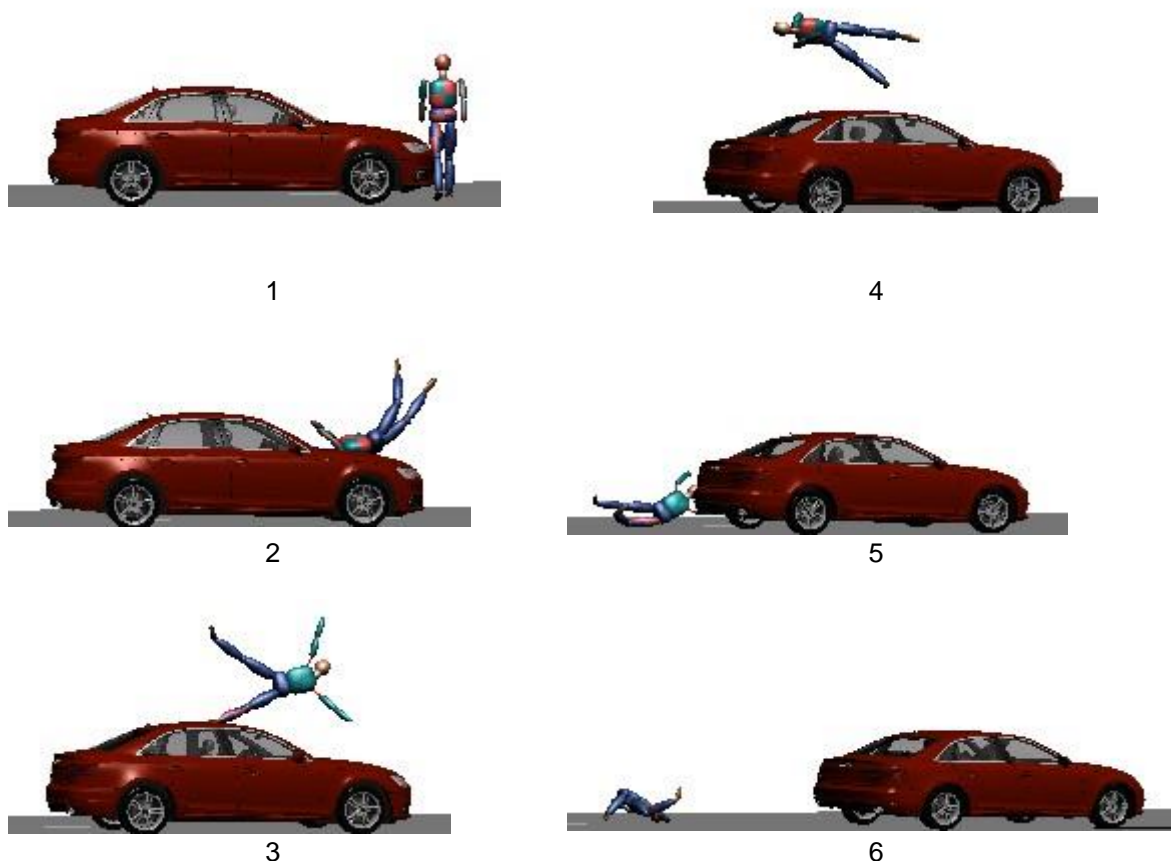
Slika 3.10 Trajektorija tela pešaka kod naleta vozila sandučastog oblika karoserije (*"forward projection"*)

Treći tip trajektorije se odnosi na delimično čeonu nalet vozila na pešaka (*"fender vault"*) u kome do kontakta dolazi između prednjeg ugla vozila i iskoračne ili zaostale noge pešaka. Nakon primarnog kontakta, telo pešaka pada na podlogu sa bočne strane vozila. Pri tome, glava pešaka može, ali ne mora da kontaktira sa vozilom. Nakon naleta, telo pešaka se zaustavlja iza zaustavne pozicije vozila i sa one strane, kojom je kontakt i ostvaren (slika 3.11).



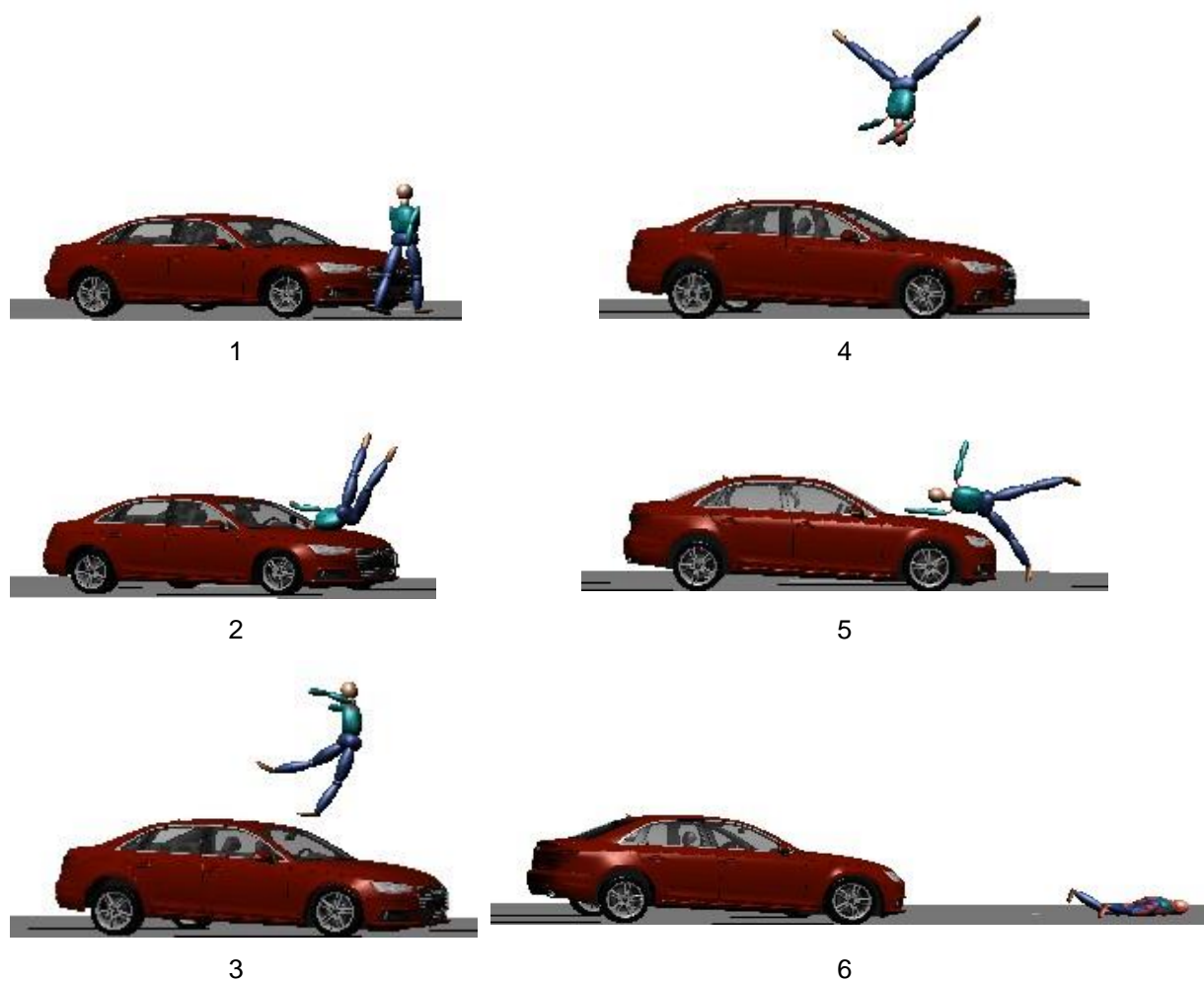
Slika 3.11 Trajektorija tela pešaka kod delimično čeonog naleta vozila (*"fender vault"*)

Četvrti tip trajektorije pešaka nakon naleta (*"roof vault"*) je varijacija prvog tipa (*"wrap"*) i telo je opisuje kada vozilo ne koči ili kada ubrzava. Za razliku od prvog tipa, telo pešaka ne prestaje sa rotacijom nakon kontakta sa poklopcem motora ili vetrobranskim staklom, već nastavlja rotaciju tako da mu se noge nalaze iznad glave. Glava pešaka se nalazi u nivou prednjeg vetrobranskog stakla ili krova vozila. Tokom rotacije pešaka, vozilo prolazi ispod njega. Kod ovakvog kretanja pešaka, mogući su višestruki kontakti sa krovom vozila. Telo pešaka se konačno zaustavlja iza zadnjeg dela vozila (slika 3.12).



Slika 3.12 Trajektorija tela pešaka kod potpuno čeonog nekočenog naleta ("roof vault")

Peti tip trajektorije pešaka nakon naleta ("somersault") je još jedna varijacija prvog tipa ("wrap") i telo je opisuje kod kočenih naleta, pri većim naletnim brzinama ([Field, 2003](#)). Nakon primarnog kontakta, telo pešaka biva zarotirano i nabačeno na poklopac motora i prednje vetrobransko staklo. Zbog velike naletne brzine, odnosno ubrzanja tela pešaka nakon primarnog kontakta, intenzitet udarne sile je znatno veći, te je i rotacija tela pešaka intenzivnija. Iz tog razloga, telo pešaka, nakon sekundarnog kontakta, nastavlja sa rotacijom, odižući se sve više u vazduh, a nakon toga se zaustavlja ispred prednjeg dela vozila, s obzirom da je ono u trenutku i nakon naleta bilo kočeno (slika 3.13)



Slika 3.13 Trajektorija tela pešaka kod kočenog potpuno čenog naleta, pri većim naletnim brzinama ("somersault")

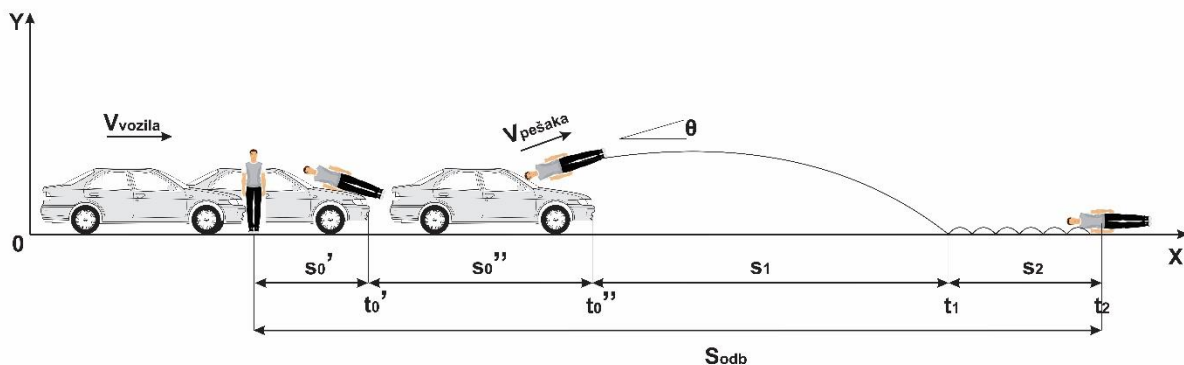
4. POSTOJEĆI MODELI ZA UTVRĐIVANJE BRZINE KRETANJA VOZILA PRILIKOM NALETA NA PEŠAKA

U postupku ekspertiza saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka, jedan od osnovnih parametara neophodnih za njihovu analizu je brzina vozila u trenutku naleta. U pojedinim slučajevima, ovu veličinu je moguće utvrditi na osnovu tragova kretanja vozila na kolovozu. Međutim, u većini realnih saobraćajnih nezgoda postupak utvrđivanja naletne brzine vozila je zasnovan na tragovima koji nastaju kao posledica nezgode, a to je najčešće dužina odbačaja tela pešaka. U ovom poglavlju dat je prikaz do sada poznatih metoda za utvrđivanje ove veličine. U osnovi, postojeće metode za utvrđivanje brzine vozila u trenutku naleta na pešaka su zasnovane na fizičkim zakonima, ili su empirijske prirode, zasnovane na rezultatima eksperimentalnih istraživanja, tako da između elemenata u ovim modelima ne postoji fizička povezanost.

4.1. Model zasnovan na fizičkim zakonima

U okviru prethodnog poglavlja, navedeno je da se daljina odbačaja tela pešaka sastoji iz tri segmenta, odnosno faze kontakta i transporta (s_0), faze leta (s_1) i faze klizanja (s_2). Na slici 4.1 je dat prikaz daljine odbačaja tela pešaka po karakterističnim fazama, pri čemu je faza kontakta i transporta podeljena na dva segmenta, odnosno dužinu puta kontakta (s'_0), koji telo peška pređe od trenutka primarnog do trenutka sekundarnog kontakta i dužinu puta transporta (s''_0), koji telo pređe od trenutka sekundarnog kontakta, do trenutka odvajanja od vozila. Prethodno je objašnjeno da dužina puta kontakta i transporta (s_0) zavisi od više faktora, kao što su visina pešaka, oblik karoserije vozila, režim i brzina kretanja vozila i dr.

Kako bi se definisali svi potrebni elementi za utvrđivanje daljine odbačaja tela pešaka, odnosno naletne brzine vozila, uspostavljen je koordinatni sistem čiji se početak nalazi na mestu primarnog kontakta između vozila i pešaka, tako da x-osa prati ravan kolovoza, dok je y-osa upravna na ravan kolovoza.



Slika 4.1 Daljina odbačaja tela pešaka po karakterističnim fazama

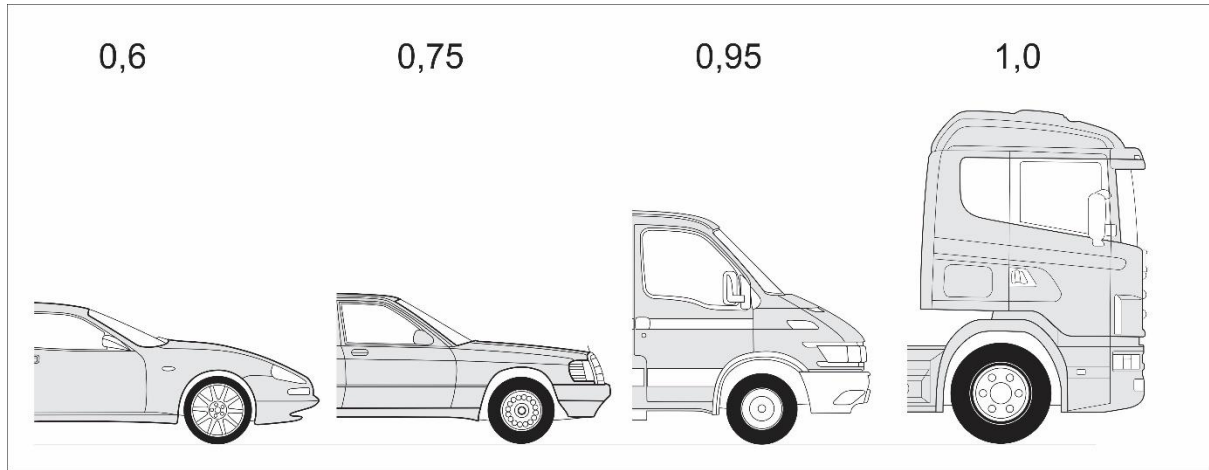
Brzina kretanja vozila u trenutku primarnog kontakta (V_s) ima nešto veći intenzitet od brzine vozila neposredno nakon kontakta (V_s'). Drugim rečima, i pored velike razlike u masama i brzinama vozila i pešaka, dolazi do izvesnog gubitka brzine vozila usled naleta. Taj gubitak brzine je relativno mali i iznosi 1-3 km/h ([Burg & Moser, 2007](#)), ali ga je za potrebe uspostavljanja fizičkog modela za utvrđivanje naletne brzine vozila u funkciji daljine odbačaja tela pešaka, potrebno uzeti u obzir. Kontakt (sudar) između vozila i pešaka se posmatra kao plastični, tako da se može primeniti zakon održanja količine kretanja, po kome je:

$$m_v \cdot V_s = (m_v + m_p) \cdot V_s' \quad 4.1$$

gde su m_v i m_p masa vozila, odnosno masa pešaka, respektivno. Iz izraza 4.1, brzina kretanja vozila neposredno nakon kontakta se može izraziti kao:

$$V_s' = V_s \cdot \frac{m_v}{m_v + m_p} \quad 4.2$$

U zavisnosti od tipova naleta opisanih u okviru prethodnog poglavlja, brzina kretanja vozila (V_s') i brzina tela pešaka (V_p'), u trenutku odvajanja tela pešaka od vozila mogu se u izvesnoj meri razlikovati. Iz tog razloga je uveden koeficijent η , kako bi se ove dve brzine dovele u vezu ([Searle & Searle, 1983](#)). Koeficijent η u osnovi najviše zavisi od tipa trajektorije pešaka nakon naleta, odnosno od visine pešaka i oblika karoserije vozila. Na slici 4.2 su prikazane orijentacione vrednosti koeficijenta η , u zavisnosti od tipa karoserije vozila ([Kühnel, 1980](#)).



Slika 4.2 Približne vrednosti koeficijenta η u zavisnosti od oblika karoserije vozila (Burg & Moser, 2007)

U skladu s tim, teoretska brzina kretanja pešaka neposredno nakon kontakta (V'_p) se dobija prema sledećem izrazu:

$$V'_p = \eta \cdot V'_s = \eta \cdot V_s \cdot \frac{m_V}{m_V + m_p} \quad 4.3$$

Ipak, u većini slučajeva, razlika u brzinama kretanja vozila i pešaka u završnom delu faze kontakta i transporta je zanemarljiva. Razlike u pomenutim brzinama su najizraženije u slučajevima kada je manja razlika u masama vozila i pešaka (kada vozilo manje mase kontaktira pešaka veće mase). S toga se može izvršiti izvesno uprošćavanje izraza 4.3 eliminacijom koeficijenta η , tako da se u daljoj analizi može uzeti u obzir da su ove brzine približno jednake, odnosno da je:

$$V'_p \approx V'_s = V_s \cdot \frac{m_V}{m_V + m_p} \quad 4.4$$

U cilju pojednostavljena postupka, putanja kretanja tela pešaka se može posmatrati kroz kretanje njegovog težišta, odnosno kao kretanje materijalne tačke. Na osnovu II Njutnovog zakona, a imajući u vidu trajektoriju težišta tela pešaka tokom faze leta, dolazi se do sledećih jednačina kretanja pešaka:

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{dx}{dt} \\ V_y &= \frac{dy}{dt} \\ m_p \cdot \frac{dV_x}{dt} &= 0 \\ m_p \cdot \frac{dV_y}{dt} &= -m_p \cdot g \end{aligned} \quad 4.5$$

Elementi V_x i V_y predstavljaju projekcije brzine kretanja tela pešaka na x , odnosno y osu. Telo pešaka se u trenutku odbačaja nalazi na visini h i odbačaj se vrši pod uglom θ , dok brzina kretanja tela pešaka neposredno pre odvajanja sa vozilom iznosi V_p' , tako da uz ove početne uslove jednačine dobijaju oblik:

$$\begin{aligned} x(0) &= 0 & V_x &= V_p' \cdot \cos \theta \\ y(0) &= h & V_y &= V_p' \cdot \sin \theta \end{aligned} \quad 4.6$$

Integracijom jednačina 4.5, uz definisane početne uslove 4.6, dobijaju se jednačine projekcija brzine kretanja tela pešaka na x i y osu, kao i koordinate pozicija tela pešaka u toku leta:

$$V_x(t) = V_p' \cdot \cos \theta \quad 4.7$$

$$V_y(t) = V_p' \cdot \sin \theta - gt$$

$$x(t) = V_p' \cdot \cos \theta \cdot t \quad 4.8$$

$$y(t) = h + V_p' \cdot \sin \theta \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

Ako se sa t_1 označi trenutak kada telo pešaka ostvari kontakt sa podlogom, odnosno kada se završi faza leta, onda je $x(t_1) = s_1$ i $y(t_1) = 0$. U tom trenutku, ugao koji brzina kretanja tela pešaka zaklapa sa podlogom je 0° . Uzimajući u obzir ova dva dodatna uslova, na osnovu jednačina 4.7 i 4.8, može se dobiti vreme, kao i put leta tela pešaka:

$$t_1 = \frac{V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{g} \quad 4.9$$

$$s_1 = V_p' \cdot \cos \theta \cdot t_1 \quad 4.10$$

odnosno:

$$s_1 = \frac{V_p'^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + V_p' \cdot \cos \theta \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{g} \quad 4.11$$

U trenutku kada telo pešaka ostvari prvi kontakt sa podlogom, Njutnove dinamičke jednačine imaju sledeći impulsni oblik:

$$m_p \cdot (V_x^+ - V_x^-) = -I_x \quad 4.12$$

$$m_p \cdot (V_y^+ - V_y^-) = I_y$$

Oznake “-“ i “+” kod projekcija brzina na x i y osu predstavljaju njihove vrednosti pre i posle kontakta, respektivno, dok I_x i I_y predstavljaju projekcije impulsa na x i y osu. Da bi se pojednostavio problem, kontakt tela pešaka sa podlogom se posmatra kao plastični sudar ([Batista, 2008](#)), u kome nema ponovnog odskakanja tela od podloge, tako da je projekcija brzine tela pešaka na y -osu nakon kontakta jednaka nuli ($V_y^+ = 0$). U datoj situaciji, važi Kulonov zakon trenja, koji glasi:

$$I_x = \mu_p \cdot I_y \quad 4.13$$

gde je:

μ_p –koeficijent trenja između tela pešaka i podloge na putu klizanja.

Na osnovu jednačina 4.7, 4.12 i 4.13, proizilazi da je brzina tela pešaka neposredno nakon kontakta sa podlogom:

$$V_x^+ = V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta) - g \cdot \mu_p \cdot t_1 \quad 4.14$$

Nakon kontakta sa podlogom, telo pešaka klizi do mesta zaustavljanja, tako da važe sledeće jednačine kretanja:

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{dx}{dt} \\ m_p \cdot \frac{dV_x}{dt} &= -N_x \\ 0 &= -m_p \cdot g + N_y \end{aligned} \quad 4.15$$

gde N_x i N_y predstavljaju horizontalnu i vertikalnu reakciju podloge, respektivno. Na početku puta klizanja važe sledeći uslovi:

$$x(0) = 0 \quad V_x(0) = V_x^+ \quad 4.16$$

U datoj situaciji, važi Kulonov zakon trenja, koji glasi:

$$N_x = \mu_p \cdot N_y \quad 4.17$$

Integracijom izraza 4.15, uz početne uslove navedene u izrazu 4.16 i primenom jednačine 4.17, dobija se funkcija brzine kretanja tela pešaka u fazi klizanja:

$$V_x(t) = V_x^+ - \mu_p \cdot g \cdot t \quad 4.18$$

kao i distanca, koju prelazi telo pešaka klizeći po podlozi:

$$x(t) = V_x^+ \cdot t - \mu_p \cdot g \cdot \frac{t^2}{2} \quad 4.19$$

U krajnjoj poziciji, telo pešaka se zaustavlja, tako da je njegova brzina 0, dok je ukupan put klizanja s_2 , tako da je vreme klizanja pešaka po podlozi:

$$t_2 = \frac{V_x^+}{2 \cdot \mu_p \cdot g} \quad 4.20$$

a put klizanja:

$$s_2 = \frac{(V_x^+)^2}{2 \cdot \mu_p \cdot g} \quad 4.21$$

Veličina V_x^+ je definisana u izrazu 4.14, dok je vreme t_1 , koje u njemu figuriše, definisano izrazom 4.9, tako da se smenom u izrazu 4.21, dobija dužina puta klizanja:

$$s_2 = \frac{\left(V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta) - \mu_p \cdot \left(V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} \right) \right)^2}{2 \cdot g \cdot \mu_p} \quad 4.22$$

Ukupna daljina odbačaja tela pešaka se sastoji iz puta kontakta i transporta, puta leta i puta klizanja, tako da je:

$$S_{odb} = s_0 + s_1 + s_2 \quad 4.23$$

Unosom izraza 4.11 i 4.22 u izraz 4.23 i njihovim sređivanjem dobija se ukupna daljina odbačaja tela pešaka:

$$S_{odb} = s_0 + \mu_p \cdot h + \frac{[V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)]^2}{2 \cdot g \cdot \mu_p} \quad 4.24$$

kao i vreme koje protekne od trenutka primarnog kontakta do zaustavljanja tela pešaka:

$$t_{odb} = t_0 + \frac{V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)}{\mu_p \cdot g} \quad 4.25$$

Rešavanjem izraza 4.24 po V_p' , dobija se brzina pešaka u trenutku primarnog kontakta sa vozilom:

$$V_p' = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \mu_p \cdot (S_{odb} - s_0 - \mu_p \cdot h)}}{\cos \theta + f_p \cdot \sin \theta} \quad 4.26$$

Iz izraza 4.4 proizilazi da je brzina vozila u trenutku naleta u funkciji izlazne brzine pešaka iz naleta:

$$V_s = V_p' \cdot \frac{m_V + m_p}{m_V} = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \mu_p \cdot (S_{odb} - s_0 - \mu_p \cdot h)}}{\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta} \cdot \frac{m_V + m_p}{m_V} \quad 4.27$$

Vrednost koeficijenta trenja između tela pešaka i podloge (μ_p) ima normalnu raspodelu ([Brach & Brach, 2011](#); [Han & Brach, 2001](#); [Moser et al., 2000](#); [Wood & Simms, 2000](#); [Zou et al., 2011](#)) sa srednjom vrednošću 0,6 i standardnim odstupanjem 0,1. Visina sa koje se odbacuje telo pešaka se uglavnom poklapa sa visinom poklopca motora i za većinu putničkih automobila je manja od 1 m. Iz tog razloga proizvod veličina $\mu_p \cdot h$ je znatno manji od 1, tako da se može izostaviti iz jednačine 4.27. Pored toga, i dužina puta kontakta i transporta pešaka (s_0) je neuporedivo manja u odnosu na ukupnu daljinu odbačaja, tako da se i ona može zanemariti, pa izraz 4.27 dobija uprošćen oblik:

$$V_s = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \mu \cdot S_{odb}}}{\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta} \cdot \frac{m_V + m_p}{m_V} \quad 4.28$$

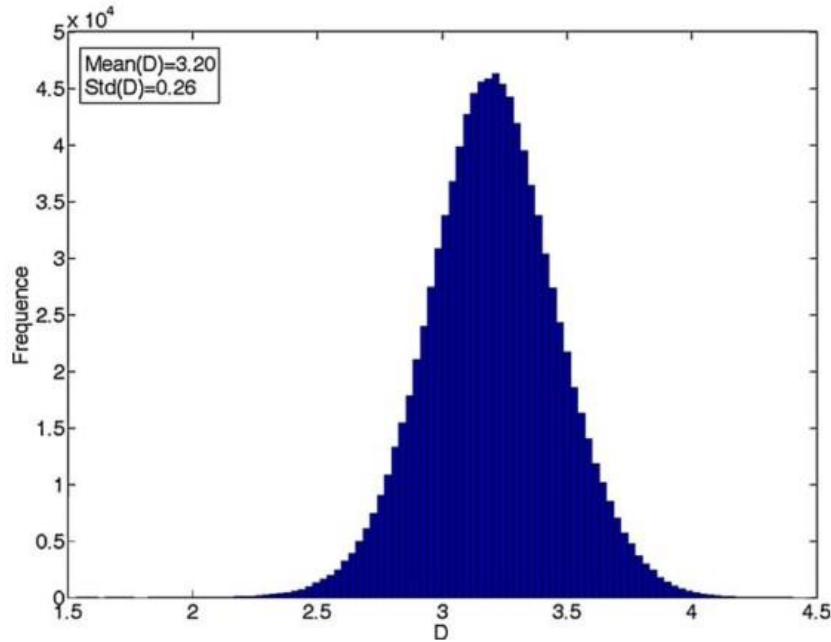
odnosno:

$$V_s = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \mu_p}}{\cos \theta + \mu \cdot \sin \theta} \cdot \frac{m_V + m_p}{m_V} \cdot \sqrt{S_{odb}} \quad 4.29$$

Prvi činilac iz jednačine 4.29 se može posebno posmatrati i označiti sa D .

$$D = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \mu_p}}{\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta} \quad 4.30$$

Ugao pod kojim se vrši izbačaj tela pešaka se kreće u granicama od 0° - 15° ([Brach & Brach, 2011](#)), što raspodelu vrednosti D čini uniformnom, sa definisanom minimalnom i maksimalnom vrednošću. Činilac D se može odrediti Monte Carlo metodom ([Zou et al., 2011](#)), prema raspodeli parametara μ_p i θ (slika 4.3). Primenom ove metode je utvrđeno da element D ima normalnu raspodelu sa srednjom vrednošću $3,20 \sqrt{m/s}$, i standardnim odstupanjem $0,26 \sqrt{m/s}$.

Slika 4.3 Funkcija gustine veličine D

Kako su mase vozila i pešaka često nepoznate, a masa pešaka je znatno manja od mase vozila, ovi elementi se takođe mogu zanemariti u jednačini, tako da se dobija pojednostavljen krajnji oblik modela određivanja naletne brzine vozila na pešaka, zasnovan na fizičkim zakonima, a koji zavisi isključivo od daljine odbačaja tela pešaka:

$$\begin{aligned}
 V_s &= 3,20 \cdot \sqrt{S_{odb}} \\
 V_s^{min} &= 2,42 \cdot \sqrt{S_{odb}} \\
 V_s^{max} &= 3,98 \cdot \sqrt{S_{odb}}
 \end{aligned}
 \tag{4.31}$$

4.2. Empirijski modeli zasnovani na daljini odbačaja tela pešaka

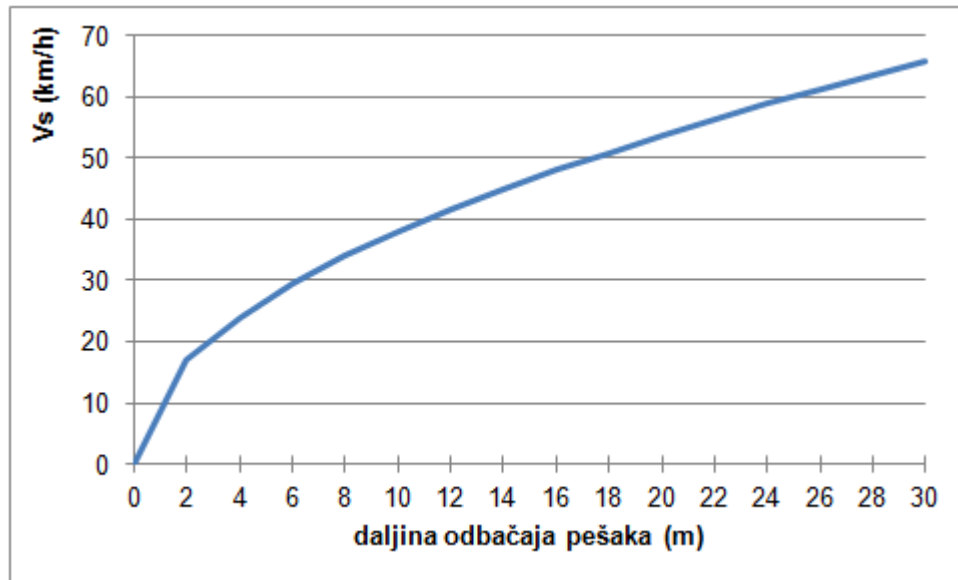
Brzina vozila u trenutku naleta na pešaka bila je predmet većeg broja eksperimentalnih istraživanja koji su u principu zasnovani na daljini odbačaja tela pešaka i još nekim uticajnim faktorima. Na osnovu tih istraživanja formirani su empirijski modeli za utvrđivanje naletne brzine vozila. Neki od modela su u izvornom obliku dati u skladu sa anglosaksonskim sistemom mera, ali su za potrebe ovog rada prilagođeni međunarodnom SI (System International) mernom sistemu.

Često primenjivan izraz za utvrđivanje brzine kretanja vozila u trenutku naleta u funkciji daljine odbačaja tela pešaka ima oblik ([Dragač, 2007](#); [Kostić, 2009a](#); [Vujanić et al., 2000](#)):

$$V_s = 12 \cdot \sqrt{S_{odb}} \tag{4.32}$$

u kome je brzina izražena u kilometrima na sat (km/h), a daljina odbačaja tela pešaka u metrima (m). Ovaj model daje tačnost rezultata brzine kretanja vozila uz toleranciju od $\pm 10\%$

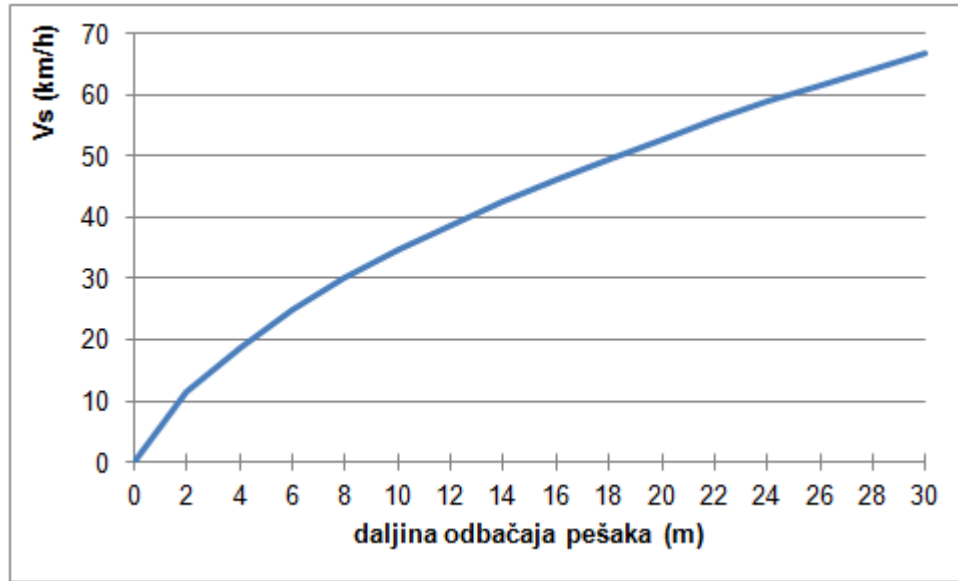
i primenjiv je samo kod kočenih, potpuno čenih naleta vozila sa pontonskim ili klinastim oblikom karoserije, kada je telo pešaka nabačeno na gornji deo vozila, a potom odbačeno unapred (tzv. “wrap” oblik trajektorije pešaka). Izvornog autora ovog modela nije bilo moguće pronaći, ali se može videti njegova velika sličnost sa prethodno prikazanim pojednostavljenim fizičkim modelom, u kome je brzina vozila izražena u m/s ($3,2 \text{ m/s} = 11,5 \text{ km/h} \approx 12 \text{ km/h}$). Stoga se pretpostavlja da je ovaj model i nastao na osnovu fizičkih zakona i svih pretpostavki, koje su prethodno objašnjene u poglavlju 4.1.



Slika 4.4 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema izrazu 4.32

Barzeley i Lacy su formirali empirijski model za utvrđivanje minimalne brzine vozila prilikom naleta na pešaka ([Barzeley & Lacy, 1978](#)). Ovaj model je moguće primeniti ukoliko vozilo pre i u trenutku naleta na pešaka nije bilo kočeno, kao i ukoliko se težište pešaka u trenutku naleta nalazilo na visini od najmanje 0,91 m (originalno 3 ft). Brzina vozila je izražena u km/h .

$$V_s = \left(\sqrt{58 + 24 \cdot (3,28084 \cdot S_{odb})} - 7,6 \right) \cdot 1,609344 \quad 4.33$$



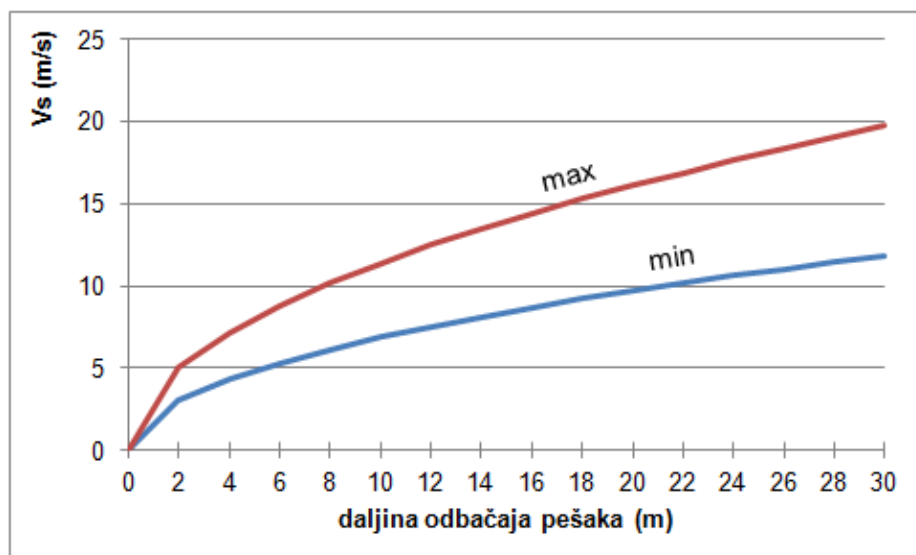
Slika 4.5 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Barzeley-u i Lacy-u (izraz 4.33)

Prema Searle-u, brzina kretanja vozila u trenutku naleta, u funkciji daljine odbačaja tela pešaka, može se utvrditi izrazom 4.34 ([Portal & Dias, 2008](#); [Searle & Searle, 1983](#)). Pored opšteg modela, prikazane su i jednačine za utvrđivanje minimalne i maksimalne vrednosti brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka. U opisu modela nisu napomenuta nikakva ograničenja za njegovu primenu. Kao preporučene vrednosti za koeficijent trenja između tela pešaka i podloge date su 0,66, za vlažan ili suv asfalt i 0,79, za vlažnu ili suhu travnatu površinu. Brzina vozila je izražena u m/s .

$$V_s = \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \mu_p \cdot 3,28084 \cdot g \cdot (3,28084 \cdot S_{odb})}{(\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)^2}} \right) \cdot 0,3048$$

$$V_s^{min} = \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \mu_p \cdot 3,28084 \cdot g \cdot (3,28084 \cdot S_{odb})}{(1 + \mu_p)^2}} \right) \cdot 0,3048 \quad 4.34$$

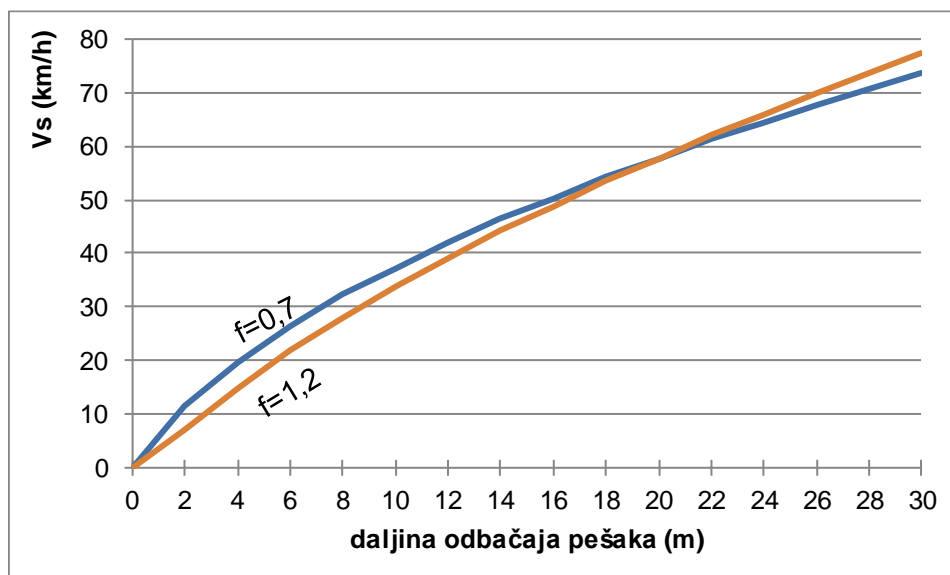
$$V_s^{max} = \left(\sqrt{2 \cdot \mu_p \cdot 3,28084 \cdot g \cdot (3,28084 \cdot S_{odb})} \right) \cdot 0,3048$$



Slika 4.6 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Searle-u (izraz 4.34)

Limpert je prilikom formiranja empirijskog izraza za određivanje naletne brzine vozila koristio ne samo daljinu odbačaja pešaka, već i faktor usporenja vozila ([Limpert, 1999b](#)). Ovaj izraz je moguće koristiti ukoliko je vozilo u trenutku naleta na pešaka bilo kočeno, uz toleranciju od $\pm 4 \text{ km/h}$. Preporučene vrednosti za faktor usporenja vozila (f) su 0,7-1,2, a brzina je izražena u km/h .

$$V_s = \left(6,6 \cdot \sqrt{8,4 \cdot f^4 + f \cdot (3,28084 \cdot S_{odb})} - 20 \cdot f^2 \right) \cdot 1,609344 \quad 4.35$$

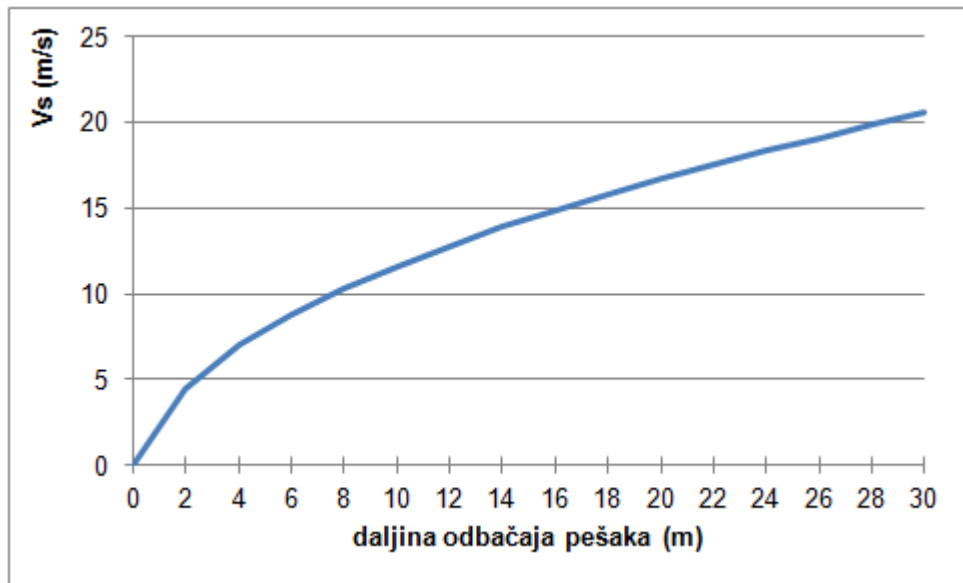


Slika 4.7 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Limpert-u (izraz 4.35)

Kod definisanja modela za proračun brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka, Wood je kao nezavisne parametre koristio daljinu odbačaja tela pešaka, koeficijent trenja između tela pešaka i podloge, visinu težišta pešaka, kao i mase vozila i pešaka ([Simms et](#)

[al., 2004; Wood, 1991; Wood et al., 2005](#)). Za primenu ovog modela, u kome je brzina izražena u m/s, nisu definisana posebna ograničenja.

$$V_s = \left(\sqrt{\frac{(3,28084 \cdot S_{odb} - \mu_p \cdot 3,28084 \cdot h_t) \cdot 2 \cdot \mu_p \cdot 3,28084 \cdot g \cdot (m_v + m_p)^2}{m_v^2}} \right) \cdot 0,3048 \quad 4.36$$



Slika 4.8 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Wood-u (izraz 4.36)

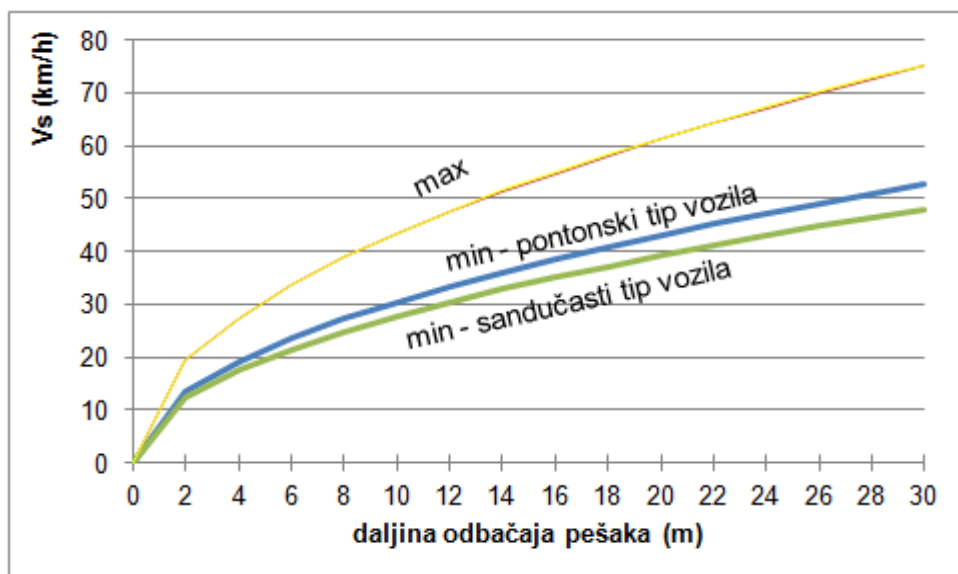
Pored ovog modela, Wood je definisao i empirijski model za utvrđivanje naletne brzine koja u obzir uzima samo daljinu odbačaja tela pešaka ([T. Fugger et al., 2002](#)). Izrazima 4.37 moguće je utvrditi minimalne i maksimalne vrednosti naletnih brzina vozila u funkciji daljine odbačaja tela pešaka u kojima je telo pešaka nabačeno na poklopac motora, a zatim odbačeno unapred (tzv. "wrap" oblik trajektorije), dok su izrazima 4.38, date granične vrednosti naletnih brzina kod naleta vozila sa sandučastim oblikom karoserije kao i kod naleta u kojima je visina prednjeg dela vozila veća od pozicije težišta tela pešaka (tzv. "forward projection" trajektorija). Može se uočiti velika sličnost Wood-ovog modela za nalet vozila pontonskog oblika karoserije (izraz 4.37) sa fizičkim modelom prikazanim u poglavlju 4.1, kao i prvim modelom prikazanim u ovom poglavlju. Brzina vozila je, nakon prilagođavanja SI sistemu mera, izražena u km/h.

$$V_s^{min} = 3,30 \cdot \sqrt{3,28084 \cdot S_{odb}} \cdot 1,609344 \quad 4.37$$

$$V_s^{max} = 4,70 \cdot \sqrt{3,28084 \cdot S_{odb}} \cdot 1,609344$$

$$V_s^{min} = 3,01 \cdot \sqrt{3,28084 \cdot S_{odb}} \cdot 1,609344 \quad 4.38$$

$$V_s^{max} = 4,72 \cdot \sqrt{3,28084 \cdot S_{odb}} \cdot 1,609344$$



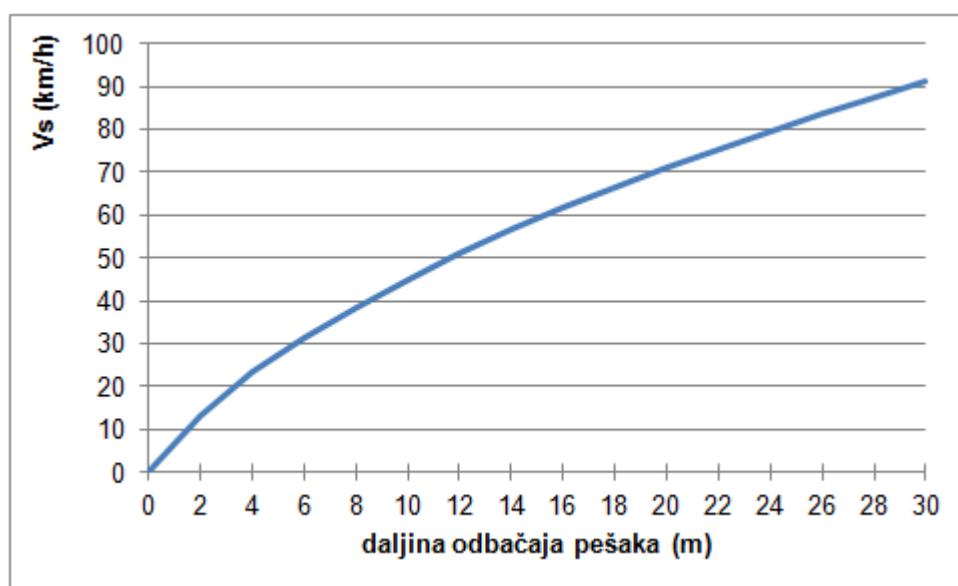
Slika 4.9 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Wood-u (izrazi 4.37 4.38)

Prilikom definisanja modela za određivanje naletne brzine vozila na pešaka, Collins ([Portal & Dias, 2008](#)) je uzeo u obzir daljinu odbačaja pešaka, koeficijent trenja između tela pešaka i podloge i visinu težišta pešaka. U opisu modela nema definisanih ograničenja, a brzina je izražena u km/h.

$$V_s = \left(\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot (-3,28084 \cdot S_{odb})}}{2 \cdot A} \right) \cdot 1,609344$$

$$A = \frac{1}{2 \cdot \mu_p \cdot 3,28084 \cdot g} \quad 4.39$$

$$B = \frac{\sqrt{3,28084 \cdot h_t}}{2,73}$$



Slika 4.10. Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Collins-u (izraz 4.39)

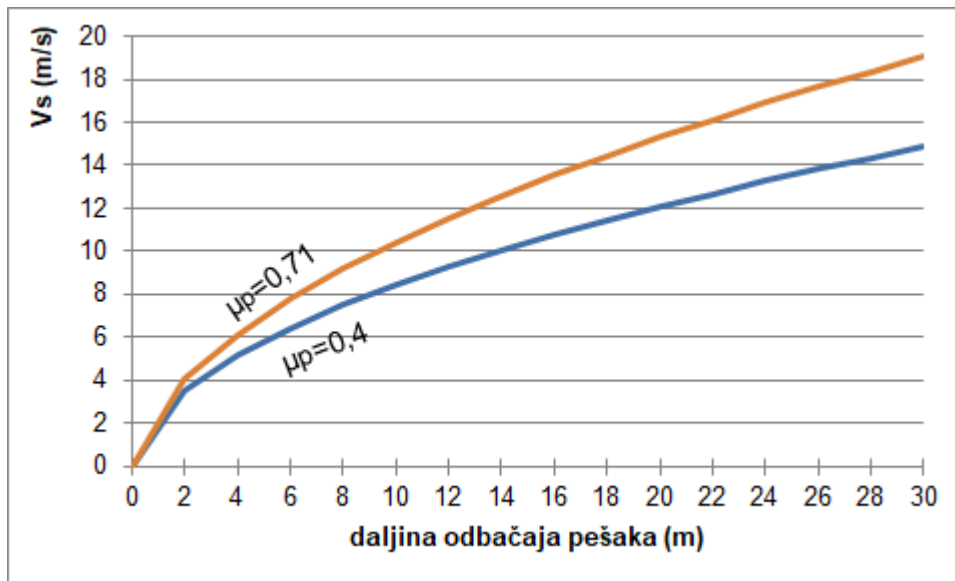
Stcherbatcheff je utvrdio zavisnost između brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka i daljine odbačaja pešaka i koeficijenta trenja između tela pešaka i podloge ([Bhalla et al., 2002](#); [T. Fugger et al., 2002](#); [Portal & Dias, 2008](#); [Stcherbatcheff et al., 1975](#)). U modelu nisu definisana posebna ograničenja, a brzina je izražena u m/s.

$$V_s = \left(\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot (-3,28084 \cdot S_{odb})}}{2 \cdot A} \right) \cdot 0,3048$$

$$A = \frac{1}{2 \cdot \mu_p \cdot 3,28084 \cdot g}$$

4.40

$$B = 0,0091 \cdot \mu_p \cdot 3,28084 \cdot g$$



Slika 4.11 Zavisnost naletne brzine od daljine odbačaja pešaka, prema Stcherbatcheff –u (izraz 4.40)

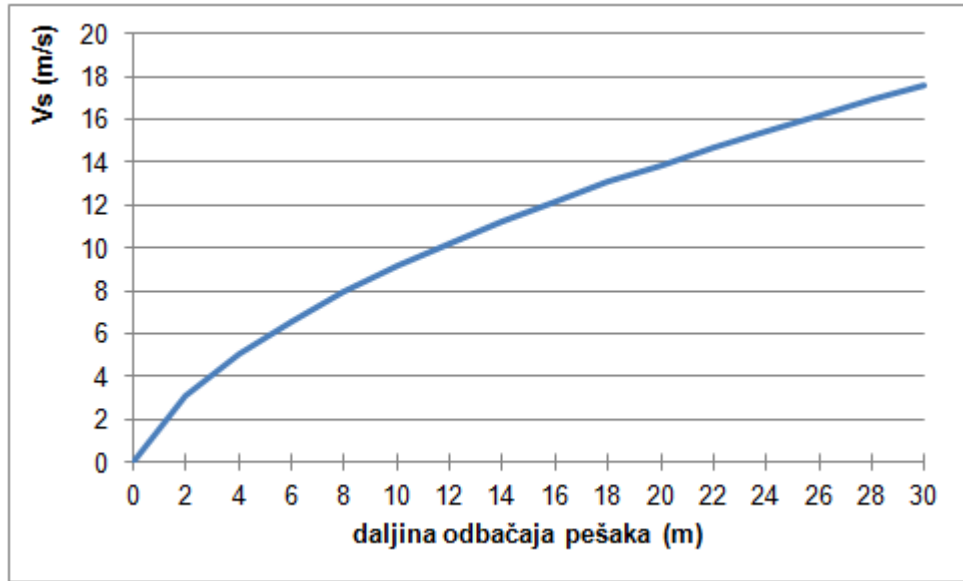
Eubanks i Bank su definisali model za određivanje naletne brzine na pešaka kod naleta vozila sa sandučastim oblikom karoserije (tzv. “forward projection” trajektorija) ([J. Eubanks et al., 2004](#)) ([Gimbretiere & Depriester, 2003](#)). Pored daljine odbačaja tela pešaka, u modelu figurišu i visina težišta pešaka i koeficijent trenja između tela pešaka i podloge. Za koeficijent f_v je data preporučena vrednost $f_v = (1,14 - 1,7) \mu_p$. Brzina vozila je izražena u m/s.

$$V_s = \left(\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot (-3,28084 \cdot S_{odb})}}{2 \cdot A} \right) \cdot 0,3048$$

$$A = \frac{1}{2 \cdot f_v \cdot 3,28084 \cdot g}$$

4.41

$$B = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,28084 \cdot h_t}{3,28084 \cdot g}}$$



Slika 4.12 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Eubanks & Bank-u (izraz 4.41)

Pored opisanog, Eubanks je razvio još jedan empirijski model za definisanje naletne brzine (Portal & Dias, 2008), koji se može primeniti kod naleta vozila sa pontonskim oblikom karoserije na pešaka ili kada je prednji deo vozila viši od pozicije težišta pešaka. Brzina vozila je izražena u m/s .

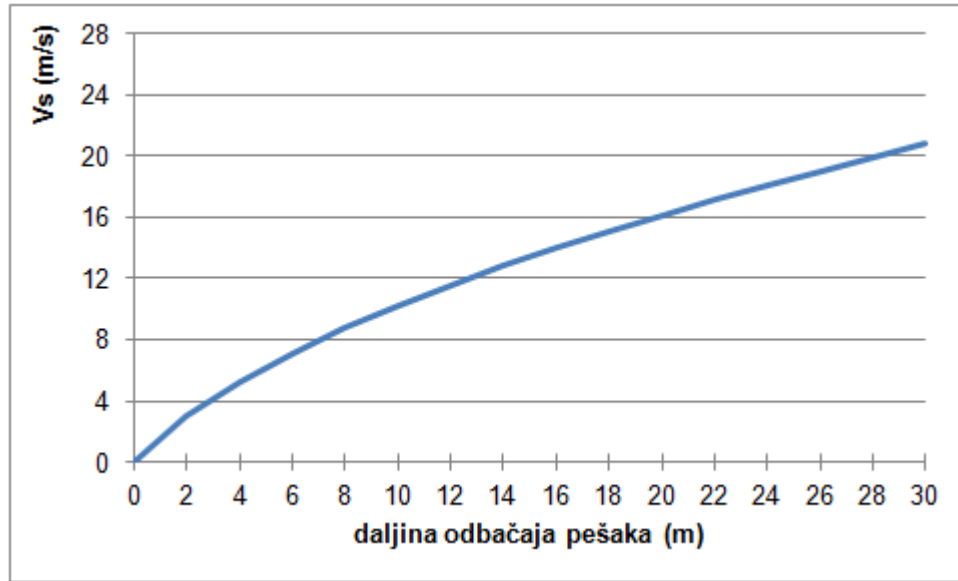
$$V_s = \left(\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot (-3,28084 \cdot S_{odb})}}{2 \cdot A} \right) \cdot \frac{h_t}{h_{pd}} \cdot 0,3048$$

$$A = \frac{1}{2 \cdot f_v \cdot 3,28084 \cdot g} \quad 4.42$$

$$B = \frac{L_{pm}}{V_p \cdot \sin \varphi} + \sqrt{\frac{3,28084 \cdot h_{max}}{16,1}}$$

U ovom modelu, pored daljine odbačaja tela pešaka, figurišu i sledeći parametri:

- V_p – brzina kretanja pešaka pre kontakta sa vozilom [m/s];
- μ_p – koeficijent trenja između tela pešaka i podloge;
- $f_v = (1,14 - 1,7) \cdot \mu_p$
- h_t – visina težišta tela pešaka [m];
- L_{pm} – dužina poklopca motora, na kojem je došlo do klizanja tela pešaka, mereno od njegovog početka do kraja [m];
- h_{pd} – visina prednjeg dela vozila [m];
- h_{max} – pozicija najvišeg kontakta između tela pešaka i vozila, merena od ravni tla. [m];
- φ – ugao između vozila i pešaka u trenutku kontakta, odnosno ugao koji su gradili vektori brzine kretanja pešaka i vozila neposredno pre kontakta [$^\circ$].



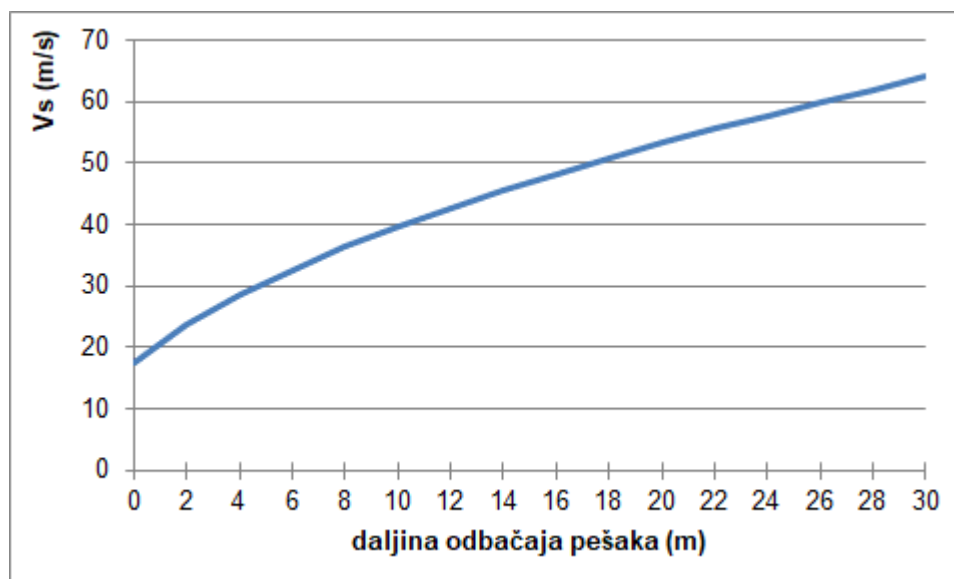
Slika 4.13 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Eubanks-u (izraz 4.42)

Aronberg i Snider definisali su model za određivanje naletne brzine vozila zasnovan na daljini odbačaja tela pešaka, maksimalnoj visini putanje tela u fazi leta nakon odbačaja od vozila (h_{max}), visini težišta pešaka (h_t), ugla izbačaja tela (θ), kao i vremena leta pešaka (T) (Aronberg, 1990; Aronberg & Snider, 1994). Preporučena vrednost koeficijenta trenja između tela pešaka i podloge je 0,5. Brzina vozila je izražena u m/s .

$$V_s = \left(\frac{8 \cdot \sqrt{3,28084 \cdot (h_{max} - h_t)}}{\sin \theta} \right) \cdot 0,3048$$

$$T = 0,25 \cdot \left(\sqrt{3,28084 \cdot (h_{max} - h_t)} + \sqrt{3,28084 \cdot h_{max}} \right) \quad 4.43$$

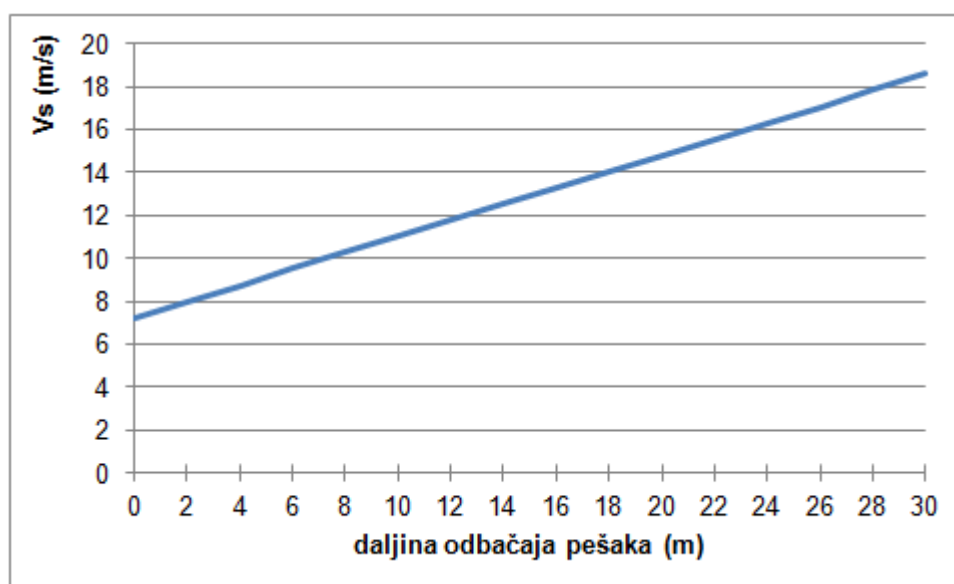
$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3,28084 \cdot (h_{max} - h_t)}}{\sqrt{16 \cdot (\mu_p \cdot T)^2 + \mu_p \cdot 3,28084 \cdot S_{odb} - 4 \cdot \mu_p \cdot T}} \right]$$



Slika 4.14 Zavisnost naletne brzine vozila od daljine odbačaja pešaka, prema Aronberg & Snider-u (izraz 4.43)

Casteel je prilikom definisanja naletne brzine vozila uzeo u obzir daljinu odbačaja tela pešaka, visinu težišta pešaka, ali i visinu prednjeg dela vozila ([J. Eubanks et al., 2004](#)). Model se ne može primeniti kada je u pitanju sandučasti tip karoserije vozila, kao ni u slučajevima kada je prednji deo vozila viši u odnosu na poziciju težišta pešaka. Brzina vozila je, nakon prilagođavanja SI mernom sistemu, izražena u m/s.

$$V_s = 100 \cdot \left[0,0124 \cdot S_{odb} + 2,11 \cdot (h_t - h_{pd})^2 - (h_t - h_{pd}) + 0,3531 \right] \cdot 0,3048 \quad 4.44$$



Slika 4.15 Zavisnost naletne brzine vozile od daljine odbačaja pešaka, prema Casteel-u (izraz 4.44)

Appel je definisao modele za određivanje naletne brzine kretanja vozila u četiri različita slučaja ([Appel et al., 1976](#)). Prvi se odnosi na nalet vozila sa pontonskim oblikom karoserije

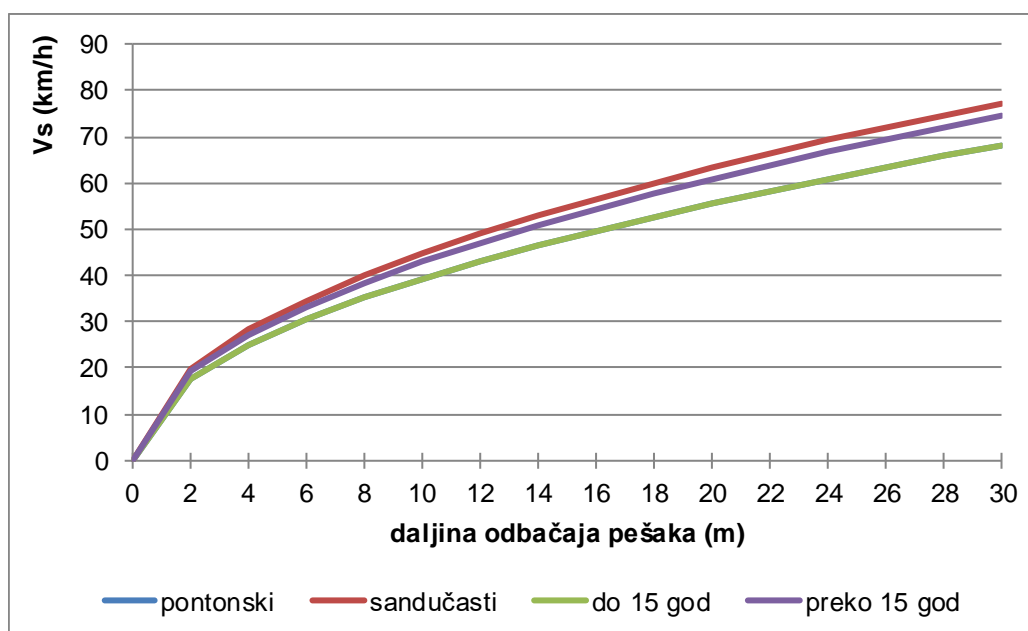
(4.45), drugi se odnosi na vozila sa sandučastim oblikom karoserije (4.46), treći na nalet vozila na osobe stare do 15 godina (4.47), a četvrti na nalete vozila na osobe starosti preko 15 godina (4.48). U svim modelima data je zavisnost brzine kretanja vozila u odnosu na daljinu odbačaja tela pešaka. Drugih uslova za primenu modela nema.

$$V_s = \sqrt{\frac{S_{odb}}{0,084}} \cdot 3,6 \quad 4.45$$

$$V_s = \sqrt{\frac{S_{odb}}{0,065}} \cdot 3,6 \quad 4.46$$

$$V_s = \sqrt{\frac{S_{odb}}{0,070}} \cdot 3,6 \quad 4.47$$

$$V_s = \sqrt{\frac{S_{odb}}{0,084}} \cdot 3,6 \quad 4.48$$



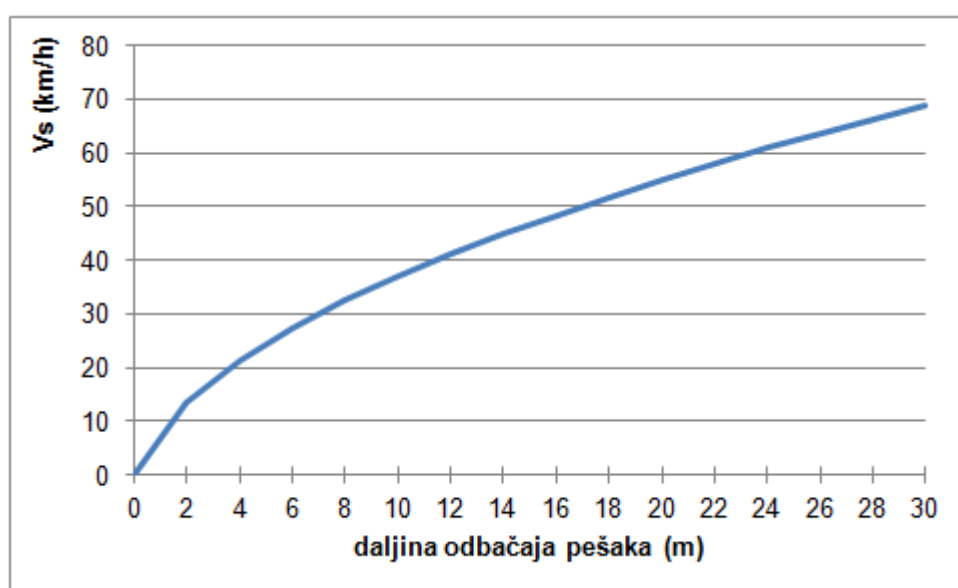
Slika 4.16 Zavisnost naletne brzine vozile od daljine odbačaja pešaka, prema Appel-u (izrazi 4.45-4.48)

Burg i Moser su uspostavili odnos između naletne brzine i daljine odbačaja tela pešaka ([Burg & Moser, 2007](#)) na osnovu eksperimentalnih testova na fizičkim modelima pešaka. Brzina je izražena u km/h, uz toleranciju od ± 5 km/h.

$$S_{odb} = 0,0052 \cdot V_s^2 + 0,0783 \cdot V_s \quad 4.49$$

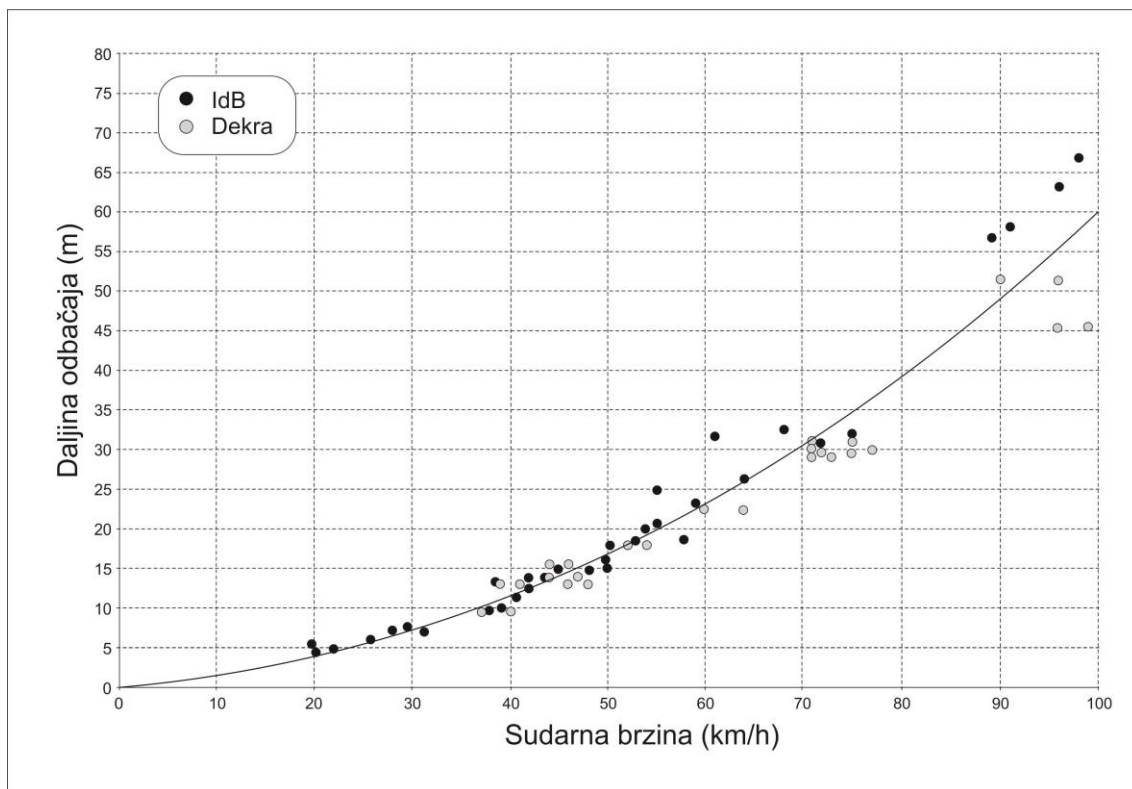
Prikazani model je primenjiv u analizama realnih saobraćajnih nezgoda uz sledeće napomene:

- pešak mora biti u potpunosti zahvaćen vozilom,
- model se odnosi na putničke automobile i laka komercijalna vozila ("van"),
- vozilo je pre i nakon naleta usporavano kočenjem uz minimalno usporenje od $4,5 \text{ m/s}^2$, sve do potpunog zaustavljanja,
- kod naleta vozila na osobe nižeg rasta (decu) ili u slučaju naleta vozila sa visokim branovima, daljina odbačaja tela pešaka će biti kraća,
- zaustavni položaj pešaka mora biti ispred zaustavljenog vozila,
- naletna brzina vozila je u dijapazonu od 10-90 km/h (ne može se isključiti mogućnost da bi opisana zavisnost važila i za veće naletne brzine, ali to do sada nije ispitano).



Slika 4.17 Zavisnost naletne brzine vozile od daljine odbačaja pešaka, prema Burg-u i Moser-u (izraz 4.49)

U cilju verifikacije modela uspostavljenog na osnovu eksperimentalnih istraživanja na fizičkim modelima pešaka, Burg i Moser su koristili podatke o realnim saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka, pribavljenim od organizacija DEKRA i IbB Forensic. Na slici 4.18 je prikazana integracija rezultata istraživanja daljine odbačaja pešaka u realnim saobraćajnim nezgodama u funkciji naletne brzine, sa regresionom krivom uspostavljenom na osnovu rezultata eksperimentalnih istraživanja na fizičkim modelima pešaka. Na slici se uočava sasvim zadovoljavajuće uklapanje rezultata analize realnih saobraćajnih nezgoda u funkcionalnu zavisnost definisanu izrazom 4.49, tako da se on može smatrati dovoljno pouzdanim ([Burg & Moser, 2007](#)).

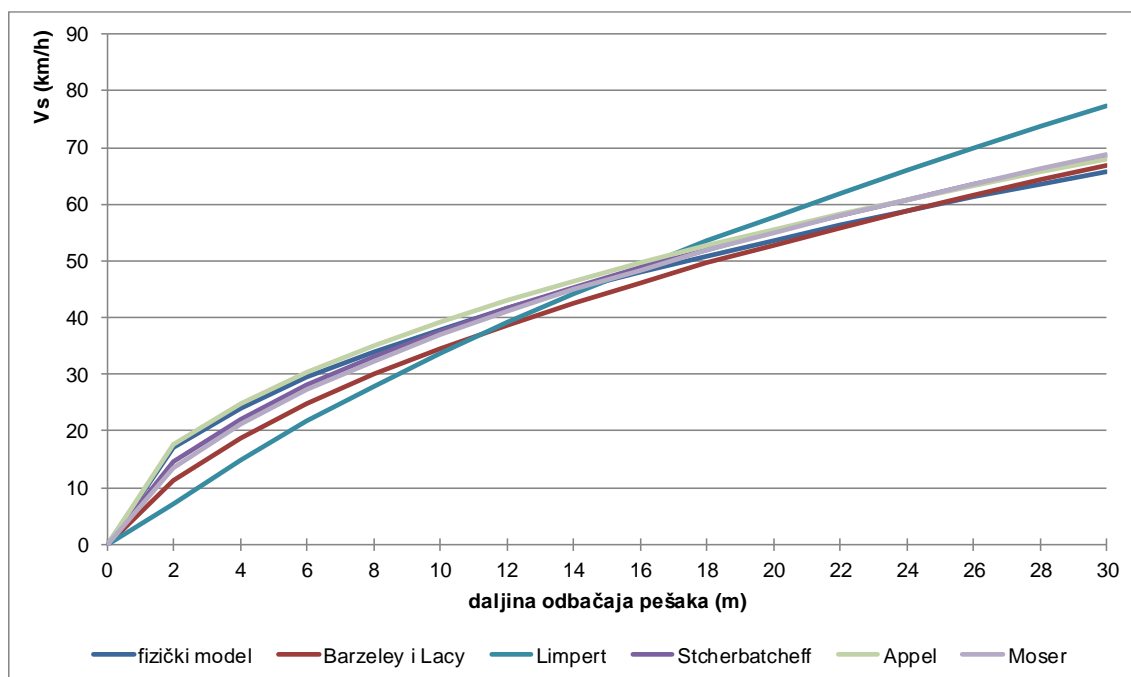


Slika 4.18 Uklapanje daljine odbačaja tela pešaka u realnim saobraćajnim nezgodama u funkciju uspostavljenu na osnovu eksperimentalnih istraživanja

4.3. Uporedna analiza postojećih empirijskih modela

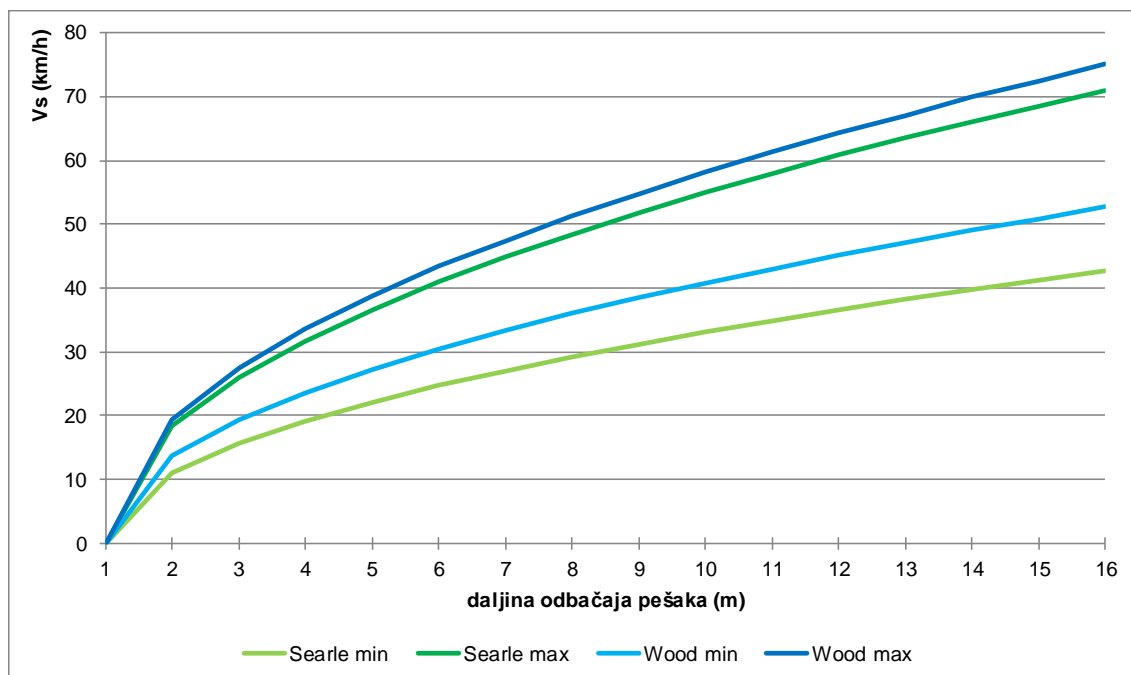
Na sledećoj slici prikazana je uporedna analiza postojećih empirijskih modela za predikciju brzine vozila u situacijama kada vozilo pontonskog oblika karoserije udara pešaka ispod nivoa težišta (tzv. „wrap“ trajektorija). Model, koji su definisali Aronberg i Snider je izuzet iz analize zbog svoje kompleksnosti i potrebe za poznavanjem većeg broja parametara koji se teško mogu utvrditi, odnosno maksimalne visine putanje tela pešaka u fazi leta nakon odbačaja od vozila, ugao odbačaja i vreme leta pešaka. Modeli, koji su definisani od strane Wood-a, Collins-a, Eubanks-a i Casteel-a, takođe nisu prikazani u uporednoj analizi, jer je za njihovu primenu neophodno poznavanje visine težišta pešaka, visine prednjeg dela vozila, dužine poklopca motora, kao i mase vozila i pešaka. I pored toga, ovi modeli su primenljiviji u praksi, s obzirom da se navedni parametri mogu utvrditi i naknadno.

Na grafiku je kao „fizički model“ predstavljen izraz koji se često primenjuje i koji je prvi prikazan u okviru poglavlja 4.2. Svi modeli pokazuju značajno preklapanje duž celog grafika (slika 4.19).



Slika 4.19 Prikaz uporedne analize postojećih empirijskih modela za predikciju brzine vozila kod naleta sa pešakom sa tzv. "wrap" trajektorijom

Na slici 4.20 su prikazani modeli za utvrđivanje minimalne i maksimalne vrednosti brzine vozila, u situacijama kada vozilo pontonskog oblika karoserije naleće na pešaka, sa tačkom udara ispod težišta pešaka. Svetlo i tamno zelenom bojom je prikazan model koji je definisao Searle, dok je svetlo i tamno plavom bojom prikazan model, koji je definisao Wood. Sa grafika se jasno vidi da se polja, definisana minimumom i maksimumom oba modela, u najvećem delu preklapaju.



Slika 4.20 Prikaz uporedne analize postojećih empirijskih modela za predikciju brzine vozila kod naleta sa pešakom sa tzv. "wrap" trajektorijom i definisanim min i max vrednostima

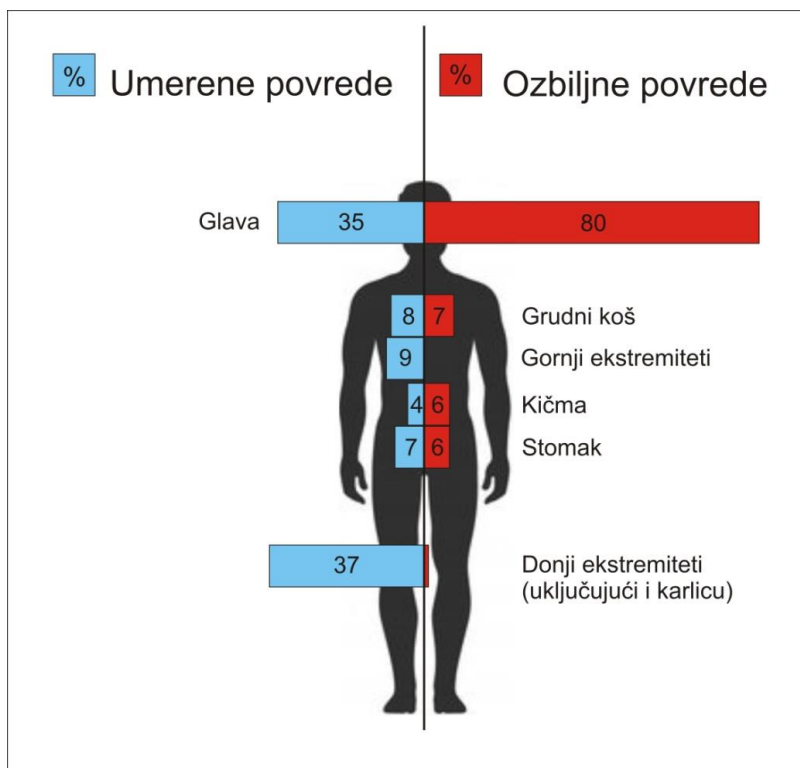
5. POVREDE PEŠAKA KAO KRITERIJUM ZA UTVRĐIVANJE NALETNE BRZINE VOZILA

Prilikom razmene kinetičke energije između vozila i pešaka, na vozilu nastaju vidljivi kontaktni tragovi i oštećenja, dok se posledice kontakta na telu pešaka manifestuju u vidu povreda. Analiza kontaktnih tragova na vozilu i telu pešaka je od izuzetne važnosti za utvrđivanje okolnosti pod kojima se dogodila nezgoda. Osnovu za uspostavljanje korelacije između tragova i oštećenja na vozilu i povreda pešaka čini kinematika naleta, opisana u poglavlju 3. Analiza povreda pešaka podrazumeva prethodnu identifikaciju, opis i kvalifikaciju povreda pešaka od strane veštaka sudsko-medicinske struke. Detaljno i kvalitetno opisane povrede, kao i postojanje odgovarajuće fotodokumentacije, u velikoj meri olakšavaju i ubrzavaju rad u postupku ekspertiza saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka. Na osnovu karakterističnih povreda opisanih u medicinskoj dokumentaciji i oštećenja na vozilu, a poznavajući kinematiku naleta, često se može opredeliti položaj pešaka u odnosu na vozilo u trenutku kontakta, kao i režim njegovog kretanja i bez prethodnog izjašnjenja veštaka sudsko-medicinske struke na okolnost mehanizma povređivanja. U pojedinim situacijama, povrede pešaka nastale u saobraćajnoj nezgodi mogu biti i jedina informacija u vezi nastanka nezgode, posmatrano sa forenzičkog aspekta (npr. ukoliko je vozilo koje je učestvovalo u nezgodi napustilo lice mesta). S druge strane, intenzitet oštećenja na vozilu i karakteristike povreda pešaka nastalih u saobraćajnoj nezgodi, svakako mogu biti jedan od indikatora intenziteta naletne brzine vozila. Pri tome je potrebno naglasiti da medicinski aspekt nastanka nekih od povreda u saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka nije toliko pouzdan za utvrđivanje naletnih brzina vozila, ali se one mogu iskazati u granicama mogućih vrednosti ([Gábor, 2004](#)).

U analizama saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka posebnu pažnju treba usmeriti povredama donjih ekstremiteta, koje se ispoljavaju u vidu krvnih podliva, rana i fraktura i ukazuju na poziciju pešaka u odnosu na vozilo u trenutku primarnog kontakta. Povrede pešaka, odnosno lokacije na kojima se one nalaze, između ostalog ukazuju i na to da li se pešak u trenutku naleta kretao ili je bio u stanju mirovanja, odnosno da li se nalazio u raskoraku ili ne, da li je bio u uspravnom položaju ili je bio pognut, ležao, klečao i sl. ([Vujančić et al., 2015](#)).

Najčešći uzročnici smrti kod pešaka su povrede centralnog nervnog sistema, frakture lobanje, unutrašnja krvarenja, krvarenja donjih ekstremiteta, povreda vratnog dela kičmene

moždine, prekid disajnih puteva i dr. ([Aquila et al., 2014](#)). Pri većim naletnim brzinama, udarne sile koje deluju na telo pešaka mogu dovesti do teških povreda glave, a u nekim slučajevima i do delimične ili totalne dekapitacije ([Morild & Lilleng, 2012](#); [Stojiljković et al., 2016](#)).



Slika 5.1 Povrede pešaka u saobraćajnim nezgodama koje dovode do lakših ili težih povreda (označene plavom bojom) i smrtnih ishoda (označene crvenom bojom) ([Jain, 2004](#))

Najučestalije povrede pešaka u saobraćajnim nezgodama nastaju na donjim ekstremitetima, u okviru primarne faze kontakta (preko 85% slučajeva) ([Saukko & Knight, 2004](#)), dok povrede glave imaju najteže posledice ([Bull, 1985](#); [J.-L. Martin et al., 2011](#)) ([Dima et al., 2010](#)). Faktori koji utiču na karakter i intenzitet povređivanja su brojni, a među njima su i godine starosti i pol pešaka, kao i brzina kretanja vozila.

Na osnovu podataka, dostupnih Institutu za sudsku medicinu Medicinskog fakulteta u Beogradu, Milošević i saradnici su sprovedli istraživanje na 324 pešaka smrtno stradala u saobraćajnim nezgodama ([Milošević et al., 2015](#)). Nakon izvršene anatomske-topografske lokalizacije povreda, koje su zadobili pešaci, utvrđeno je da su u 90,7% situacija postojale povrede na donjim ekstremitetima, dok je u 98,5% slučajeva pešak zadobio povrede u predelu glave i vrata. Povrede grudnog koša su nastupile u 72,5% slučajeva, dok su povrede trbuha, karlice i ruke bilo znatno manje zastupljene (38,6%, 34,6% i 21,3% respektivno).

Intenzitet povreda pojedinih delova tela pešaka se razlikuje kod dece i odraslih osoba, zbog razlike u visini. Kod odraslih osoba, posle povreda glave, najveći rizik postoji kod zadobijanja povreda potkolenice, karlice i grudnog koša. Kod dece postoji najveći rizik od povreda stomaknog dela, natkolenice i grudnog koša. Prelom karlice često dovodi do intenzivnog krvarenja, pa čak i do smrti. U zdravstvenim ustanovama prelom karlice je često teško dijagnostikovati, jer je pacijent bez svesti ili dezorijentisan. Nisu retki ni slučajevi u kojima

pešak zadobija povrede na delovima tela na kojima hematomi ili neke druge fizičke promene nisu vidljive, uz istovremeno obilno krvarenje unutrašnjih organa ([Moffatt et al., 1990](#)).

5.1. Mehanizam povređivanja pešaka u saobraćajnim nezgodama

Povrede kod pešaka nastaju usled kontakta sa vozilom (primarne i sekundarne povrede) i usled pada tela na kolovoz (tercijalne povrede). Kako je kontaktna sila između vozila i pešaka višestruko većeg intenziteta od sile koja se ostvaruje prilikom pada tela pešaka na podlogu, povrede koje nastaju prilikom kontakta sa vozilom su u principu teže u odnosu na povrede koje nastaju usled pada pešaka na tlo. Ovu konstataciju treba uzeti uz rezervu, jer je praksa pokazala da su i tzv. tercijalne povrede, nastale prilikom pada pešaka na kolovoz nakon naleta, često rezultirale smrtnim ishodom.

Primarni kontakt između vozila i pešaka u uspravnom položaju se ostvaruje u predelu gornjeg dela potkolenice, kolenog dela pešaka ili kuka. Pozicija primarnog kontakta zavisi od visine pešaka. Kontakt se ostvaruje između prednje, bočne ili zadnje strane noge pešaka što zavisi od njegovog položaja u odnosu na vozilo u trenutku naleta. Specifična povreda na donjim ekstremitetima, koja nastaje u primarnom kontaktu, je trouglasti koštani ulomak, koji nastaje prilikom direktnog kontakta sa vozilom. Vrh "trougla" ukazuje na smer delovanja sile, dok baza ukazuje na stranu sa koje je delovala sila, odnosno koji deo tela je kontaktirao sa vozilom.

Nakon primarnog kontakta, telo pešaka biva nabačeno na poklopac motora, vetrobransko staklo, stub ili krov vozila. Tom prilikom na telu pešaka nastaju sekundarne povrede. U okviru ove faze, najrizičnije povrede po život pešaka su povrede glave, kičmenog stuba, grudnog koša i unutrašnjih organa. Pored navedenih, u sekundarnoj fazi naleta često nastaju i povrede na gornjim ekstremitetima pešaka.

Po završetku sekundarne faze naleta, dolazi do odvajanja tela pešaka od vozila, leta i pada na podlogu, kada na telu nastaju tercijalne povrede. Telo pešaka se nakon pada na podlogu najčešće ne zaustavlja, već nastavlja kretanje klizanjem, vučenjem ili kotrljanjem, pri čemu na njemu nastaju povrede u vidu ogrebotina, oguljotina i razderotina.

5.2. Povrede pešaka kao indikator naletne brzine vozila

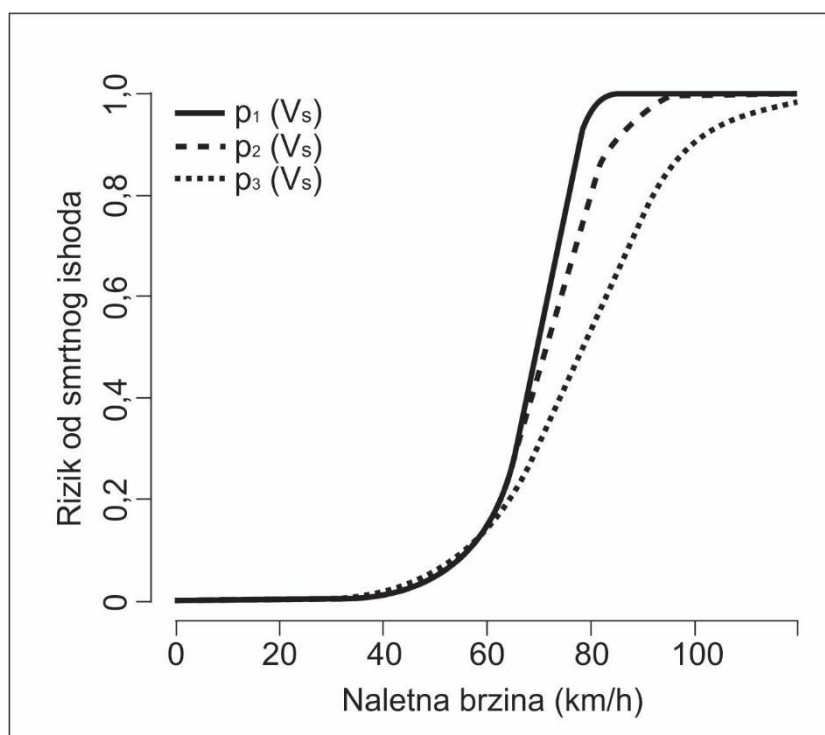
Dosadašnja praksa u postupku ekspertiza saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka je pokazala da je u pojedinim slučajevima, u kojima brzinu vozila nije bilo moguće utvrditi tehničkim putem, ona procenjena i na osnovu intenziteta povreda koje je pešak zadobio u saobraćajnoj nezgodi. Veća naletna brzina svakako indukuje veću razmenu kinetičke energije između vozila i pešaka, pa samim tim ima i značajan uticaj na karakter i intenzitet povreda pešaka. Međutim, s obzirom na složenost kinematike naleta na pešaka, odnosno mogućnost da povrede mogu biti primarnog, sekundarnog i tercijalnog karaktera (u pojedinim slučajevima i kvartijalnog, ukoliko telo pešaka u fazi klizanja i kotrljanja naleti na prepreku), između naletne brzine i karakteristika povreda pešaka svakako postoji izvesna korelacija, ali ona ne može poslužiti kao pouzdan parametar za procenu naletne brzine vozila, jer se često ne može sa sigurnošću utvrditi u kojoj fazi naleta je do njih došlo.

Više autora se bavilo uspostavljanjem korelacije između naletne brzine vozila i rizika od povređivanja pešaka sa smrtnim ishodom. Martin i Wu navode tri modela za procenu rizika od smrtnog ishoda pešaka ([J. L. Martin & Wu, 2018](#)):

$$p_1(V_s) = \frac{1}{1 + e^{7,7265 - 0,0988 \cdot V_s}}$$

$$p_2(V_s) = \frac{1}{1 + e^{5,8129 - 0,0011 \cdot V_s^2}} \quad 5.1$$

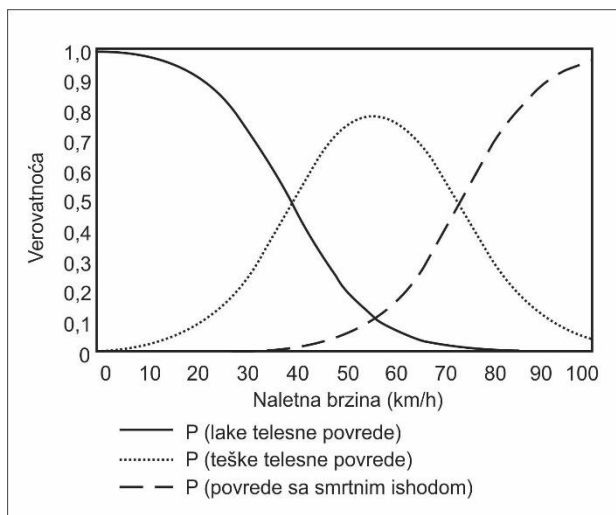
$$p_3(V_s) = 1 - e^{-e^{-5,7389 + 0,001096 \cdot V_s^2}}$$



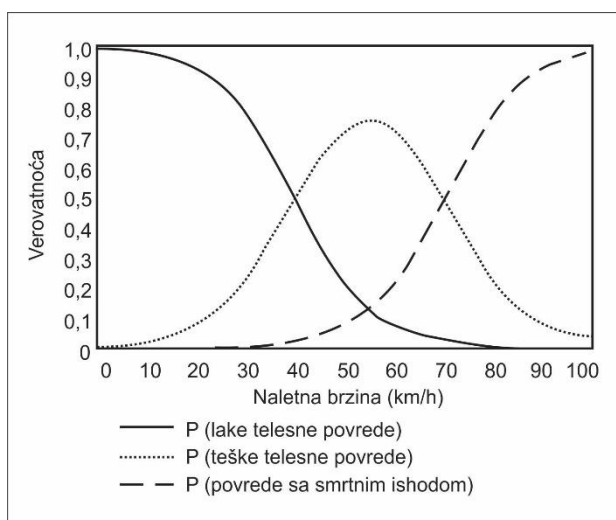
Slika 5.2 Rizik od smrtnog ishoda pešaka, u zavisnosti od naletne brzine vozila

Sa grafika se zaključuje da verovatnoća od ozbiljnog povređivanja pešaka sa smrtnim ishodom postepeno raste sa porastom naletne brzine vozila. Pri naletnim brzinama većim od 40 km/h, rizik od smrtnog ishoda se naglo povećava, dok je pri brzinama većim od 70 km/h on gotovo izvestan.

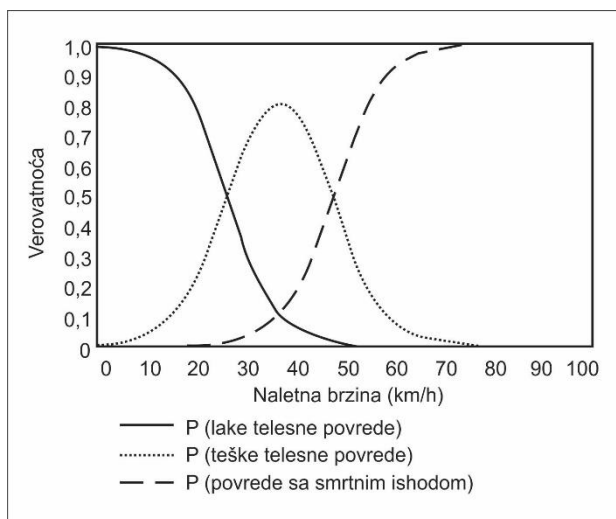
Davis je u svom istraživanju pokazao da starosna dob pešaka utiče na korelaciju između naletne brzine vozila i povreda pešaka ([Davis, 2001](#)). U svom radu, on je izvršio klasifikaciju pešaka prema starosnoj dobi na mlađu grupu (pešaci starosti do 14 godina), srednju grupu (pešaci starosti između 15 i 59 godina) i stariju grupu (pešaci starosti preko 60 godina). Dijagrami, koji prikazuju rizik nastanka lakih i teških telesnih povreda i povreda sa smrtnim ishodom, u funkciji naletne brzine, prikazani su na slikama 5.3, 5.4 i 5.5.



Slika 5.3 Rizik nastanka povreda pešaka, u zavisnosti od naletne brzine vozila, za starosnu dob do 14 godina



Slika 5.4 Rizik nastanka povreda pešaka, u zavisnosti od naletne brzine vozila, za starosnu dob od 15 do 59 godina



Slika 5.5 Rizik nastanka povreda pešaka, u zavisnosti od naletne brzine vozila, za starosnu dob preko 60 godina

Autor je zaključio da rizik nastanka lakših povreda kod pešaka znatno brže opada kod starije starosne grupe, dok se istovremno rizik od ozbiljnijeg povređivanja (sa i bez smrtnog ishoda), najpre pojavljuje upravo kod ove starosne grupe. Već prilikom naleta vozila brzinom od 35 km/h, rizik od nastanka ozbiljnih povreda kod pešaka (bez smrtnog ishoda) je na maksimumu, dok se pri naletnim brzinama vozila od 60 km/h gotovo sigurno može očekivati smrtni ishod. Kod druge dve starosne grupe pešaka, dobijeni su rezultati pri kojima se sa velikom sigurnošću može reći da će pešak zadobiti ozbiljne povrede pri brzinama od oko 55 km/h, dok je smrtni ishod pri naletnim brzinama većim od 90 km/h sasvim izvestan.

Pojedini autori su svoja istraživanja koncipirali u pronalaženju korelacije između naletne brzine vozila i rizika nastanka pojedinih vrsta povreda pešaka. Povrede kolena kod pešaka su moguće i pri kontaktu sa vozilom, koje se kreće brzinom od oko 20 km/h, dok se potpuno razorenje zgloba kolena može očekivati pri kontaktu sa vozilom koje se kreće brzinom od 35 km/h ([Ashton, 1981](#)). Beirau je prilikom istraživanja u okviru svoje doktorske disertacije koje je sprovedeno na 160 slučaja naleta vozila na pešaka ([Beirau, 2012](#)) utvrdio da se prelom lobanje kod pešaka može dogoditi pri brzini od 35 km/h, a da je prosečna vrednost brzine pri kojima nastaje ova povreda 56 km/h. Prelom rebara kod pešaka se dešava pri minimalnim brzinama od 53 km/h, dok prosečna vrednost brzine vozila pri kojima nastaje ova povreda pešaka iznosi 58 km/h. Prelomi kosti tibie i fibule (kosti potkolenice), kao i skočnog zgloba nastaju pri brzinama od 33 km/h, dok se prelomi karlice i sakralne kosti dešavaju pri naletnim brzinama od 39 km/h.

Tabela 5.1 Vrednosti naletne brzine vozila i karakteristične povrede pešaka

Vrste povreda	Minimalna naletna brzina vozila (km/h)	Prosečna naletna brzina vozila (km/h)
Prelom lobanje	35	56
Prelom kičme	33	63
Prelom rebra	53	58
Rupture aorte	60	80
Prelom karlice i sakralne kosti	39	60
Prelom tibie i fibule, skočnog zgloba	33	57

Izvor: ([Beirau, 2012](#))

Na osnovu analize na uzorku od 47 saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka, u kojima su se naletne brzine kretale u rasponu od 18-142 km/h, Karger i saradnici su došli do zaključaka da ukoliko pešak nije zadobio povrede u vidu frakture kičme, naletna brzina nije bila iznad 50 km/h. Povrede pešaka u vidu ruptura aorte se uvek dešavaju kada je naletna brzina vozila veća od 100 km/h, a nikada pri brzinama manjim od 50-60 km/h. Do traumatskih amputacija delova tela pešaka može doći pri naletnim brzinama pešaka većim od 90 km/h ([Karger et al., 2000](#)).

Istraživanjem sprovedenim na uzorku od 254 saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka, utvrđene su minimalne vrednosti brzina vozila pri kojima se pojavljuju karakteristične povrede na pojedinim delovima tela pešaka. Izolovani prelom kosti fibule se pojavljuje pri minimalnoj naletnoj brzini od 20-25 km/h. Izolovani prelom kosti tibie se pojavljuje pri naletnoj

brzini od oko 30 km/h, dok se potpuni prelom potkolenice (prelom obe kosti - tibie i fibule) javlja pri naletnoj brzini vozila od 35-40 km/h. Prelom kosti femura (butna kost) se pojavljuje kao posledica naleta vozila brzinom od 35-40 km/h, dok prelom kosti karlice nastaje pri brzini od 40-45 km/h. Do preloma kosti svoda i baze lobanje i povreda mozga kod pešaka dolazi pri naletnim brzinama od 40-45 km/h. Kod naletnih brzina u dijapazonu od 55-60 km/h često dolazi do povreda u vidu preloma vratnog dela kičme, dok do preloma u zoni grudnog dela kičme dolazi pri naletnoj brzini vozila od oko 60 km/h ([Čović et al., 1987](#)).

5.3. Klasifikacija povreda pešaka prema A/S kriterijumu

Komitet Američkog medicinskog udruženja, Društva saobraćajnih inženjera i Udruženja za unapređenje saobraćajne medicine (Association for the Advancement of Automotive Medicine – AAAM) je 1969. godine razvio ideju o kodiranju težine povreda nastalih u saobraćajnim nezgodama i formiranju A/S (Abbreviated Injury Scale) skale ([Abbreviated Injury Scale \(AIS\), 2020](#)). AIS predstavlja međunarodno prihvaćen sistem rangiranja težine pojedinačnih povreda. Prva klasifikacija povreda je objavljena 1971. godine u časopisu Američkog medicinskog udruženja, i predstavljala je pokušaj uniformisanja sistema rangiranja i standardizacije načina opisivanja povreda. Rangiranjem je obuhvaćeno manje od 75 povreda, koje nastaju u saobraćajnim nezgodama, a što je poslužilo kao osnov za dalji razvoj sistema ([Petrucci et al., 1981](#)). Godine 1976., skala je prvi put publikovana kao A/S priručnik sa više od 200 pojedinačnih opisa povreda, dok je u priručniku iz 1980. godine definisano više od 500 opisa ([Greenspan et al., 1985](#)). Nakon toga, A/S skala je korigovana više puta, odnosno 1985., 1990., 1998., 2005., 2008. i 2015. godine ([Loftis et al., 2018](#)). AIS vrednosna skala nije linearna, odnosno razlika između AIS1 i AIS2 nije ista kao i razlika između AIS4 i AIS5.

Za potrebe A/S kodiranja, telo čoveka je podeljeno na sedam regija: spoljna regija (koža), glava (uključujući i lice), vrat, grudni koš, abdomen/karlica, kičma i ekstremiteti. Za svaku regiju izvršeno je zasebno kodiranje težine povreda, prema sledećoj skali ([Gennarelli & Wodzin, 2006; Lesko et al., 2010](#)):

- 0 – nema konstatovanih povreda,
- 1 – laka telesna povreda,
- 2 – srednje teška povreda,
- 3 – teška povreda, ali nije opasna po život,
- 4 – teška povreda, opasna po život, ali postoji verovatnoća da pešak preživi,
- 5 – povrede opasne po život, bez hitne intervencije ne postoji verovatnoća da će pešak preživeti,
- 6 – momentalna smrt na licu mesta.

U saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka najučestalije povrede se dešavaju u predelu glave, grudnog koša, karlice i nogu. Za povrede navedenih delova tela pešaka utvrđene su zasebne A/S vrednosti, sa detaljnim opisom tipa povrede. Navedene A/S vrednosti prikazane su u narednim tabelama (tabele 5.2-5.5).

Tabela 5.2 Vrednovanje povreda glave prema AIS vrednostima

Oznaka	Težina povrede	Opis povrede
AIS1	Laka povreda	Laka povreda sa glavoboljom, mučninom, bez gubitka svesti. Manje povrede vratnog pršljena bez anatomskog nalaza. Oguljotine, nagnječenja, povrede oka, itd.
AIS2	Srednje teška povreda	Potres mozga sa prelomom lobanje ili bez, gubitak svesti ne duži od 15 min., prelom nosne ili jagodične kosti, ali bez pomeranja. Napuknuće rožnjače, odvajanje mrežnjače (retina) itd.
AIS3	Teška povreda, nije opasna po život	Potres mozga sa prelomom lobanje ili bez, gubitak svesti duži od 15 min., ali bez neuroloških nalaza. Unutrašnji prelom lobanje sa pomeranjem kostiju (bez gubitka svesti) i drugi znaci povrede lobanje.
AIS4	Teška povreda, opasna po život	Prelom lobanje sa teškim povredama nervnog sistema
AIS5	Teška povreda, kritična	Potres mozga sa ili bez preloma lobanje, gubitak svesti duži od 12 sati, izliv krvi u mozak, teški neurološki nalazi. Povreda pršljenova iznad pršljena C4 sa povredom kičmene moždine itd.
AIS6	Smrtonosna povreda	Smrtonosna nagnječenja mozga, prelom pršljenova sa povredom kičmene moždine ili razdvajanje. Delimično ili potpuno kidanje glave.

Izvor: (Gábor, 2004)

Tabela 5.3 Vrednovanje povreda grudnog koša prema AIS vrednostima

Oznaka	Težina povrede	Opis povrede
AIS2	Srednje teška povreda	Zatvoreni prelom rebara, bez poteškoća u disanju, zatvoreni prelom grudne kosti, nagnječenje grudnog zida bez poteškoća u disanju, umerena kompresija, prelom.
AIS3	Teška povreda, nije opasna po život	Kidanje dijafragme, nagnječenje pluća, prelom pršljenova bez povrede nervnog sistema.
AIS4	Teška povreda, opasna po život	Otvorena povreda grudnog koša, zgnječen grudni koš, nagnječenje srca.
AIS5	Teška povreda, kritična	Povrede grudnog koša sa disajnim poteškoćama, prekid aorte, prekid i povreda srčanog mišića.
AIS6	Smrtonosna povreda	Cepanje tela, i dr.

Izvor: (Gábor, 2004)

Tabela 5.4 Vrednovanje povreda karlice prema AIS vrednostima

Oznaka	Težina povrede	Opis povrede
AIS1	Laka povreda	Umereno nagnječenje stomaknog dela.
AIS2	Srednje teška povreda	Umereni kompresioni prelom, prelom karlice na jednom mestu, bez pomeranja.
AIS3	Teška povreda, nije opasna po život	Nagnječenje organa u preponi, napuknuće bešike, povreda uretre, prelom karlice. Prelom lumbalnog pršljena bez povrede nervnog sistema.
AIS4	Teška povreda, opasna po život	Napuknuće unutrašnjih organa (slezine, bubreg, pankreas – povreda), prelom pršljenova, kičme sa povredom nervnog sistema, teške povrede polnih organa.
AIS5	Teška povreda, kritična	Ozbijno napuknuće unutrašnjih organa, cepanje (pored burega, slizine i uretre)

Izvor: [\(Gábor, 2004\)](#)

Tabela 5.5 Vrednovanje povreda noge prema AIS vrednostima

Oznaka	Težina povrede	Opis povrede
AIS1	Laka povreda	Prelom prstiju, uganuće.
AIS2	Srednje teška povreda	Prelom veće kosti na jednom mestu, bez pomeranja. Uganuće većeg zgloba.
AIS3	Teška povreda, nije opasna po život	Prelom sa pomeranjem kostiju ili otvoreni prelom. Višestruki prelom. Teško uganuće, amputacija prstiju.
AIS4	Teška povreda, opasna po život	Teški višestruki prelom, amputacija.
AIS5	Teška povreda, kritična	Višestruki, teški otvoreni prelomi, potpuna amputacija.

Izvor: [\(Gábor, 2004\)](#)

6. OŠTEĆENJA NA VOZILIMA U SAOBRAĆAJNIM NEZGODAMA SA UČEŠĆEM PEŠAKA

Detaljnou analizom oštećenja na vozilu moguće je utvrditi pravac i smer delovanja deformacionih sila i definisati potencijalni položaj pešaka u odnosu na vozilo u trenutku kontakta ([Antić et al., 2014](#)). Lokacija oštećenja na vozilima u saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka zavisi od oblika karoserije vozila, visine pešaka, položaja pešaka u trenutku naleta, kao i od brzine vozila i pešaka.

U skladu sa prethodno opisanom kinematikom naleta, kod potpunih čeonih naleta na odraslog pešaka, tragovi i oštećenja na vozilu nastali u primarnom kontaktu nalaze se na najisturenijem delu vozila, odnosno na prednjem braniku i u zoni prednje registarske tablice. Osnovna funkcija branika je da amortizuje udarne sile pri sudarima manjeg intenziteta i time spreči oštećenja karoserije. U skladu sa preporukama vezanim za poboljšanje pasivne bezbednosti učesnika saobraćajnih nezgoda, među kojima su i pešaci, proizvođači motornih vozila su se usmerili i ka dizajnu prednjeg branika, sa ciljem da se ublaže posledice u slučaju naleta vozila na pešaka, tzv. "pedestrian friendly bumper". U tom smislu, koriste se novi materijali i ispune branika kod kojih pri manjim naletnim brzinama ni ne nastaju plastične deformacije. Zbog ovih činjenica, može se desiti da na braniku, kao najisturenijem delu vozila, i pored povreda u predelu potkolenice pešaka nema značajnih oštećenja, a da donja ivica poklopca motora u primarnoj fazi kontakta bude plastično deformisana, usled kontakta sa nadkolenim delom noge pešaka.

Oštećenja na poklopcu motora, prednjem vetrobranskom staklu i krovu vozila, nastaju u sekundarnoj fazi naleta, usled kontakta sa gornjim delovima tela pešaka, odnosno torzom, rukama ili glavom. Kod naleta vozila na odraslu osobu, u uspravnom položaju, oštećenja na donjem delu poklopca motora mogu nastati samo usled kontakta sa karličnim delom tela. S druge strane, oštećenja u predelu gornjeg dela poklopca motora mogu nastati i kao posledica kontakta sa glavom pešaka, ali samo pri manjim naletnim brzinama. Imajući u vidu opisanu kinematiku naleta vozila na pešaka, pozicija najvišeg oštećenja na vozilu, posmatrano u odnosu na ravan podloge, definiše položaj glave pešaka u trenutku sekundarnog kontakta. Izuzetak čine oštećenja na krovnom delu vozila, koja kod nekočenih naleta ("roof vault"

trajektorija), mogu nastati i usled kontakta sa drugim delovima tela, pa čak i sa nogama pešaka.

Zbog činjenice da kod saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka često izostaju tragovi kočenja, sa karakterističnim promenama i prekidima koji ukazuju na mesto naleta, kao i tragovi na osnovu kojih bi se mogla utvrditi daljina odbačaja tela pešaka, oštećenja na vozilu nastala kao posledica naleta na pešaka postala su predmet većeg broja istraživanja. Pri tome je najveći broj njih bio usmeren ka istraživanjima mesta kontakta glave pešaka sa gornjim delom vozila.

6.1. Oštećenja na vozilima kao indikator naletne brzine

U svom radu Happer i saradnici ([Happer et al., 2000](#)) zaključili su da je pri naletnim brzinama u granicama od 25-40 km/h, mesto kontakta glave odraslog pešaka u zoni gornje ivice poklopca motora. Pri brzinama od 50-55 km/h, mesto kontakta glave je u zoni sredine vetrobranskog stakla, dok je pri brzinama od oko 70 km/h, mesto kontakta u zoni gornje ivice prednjeg vetrobranskog stakla.

Prilikom naleta vozila na pešaka, u sekundarnoj fazi kontakta, glava pešaka često ostvaruje kontakt sa prednjim vetrobranskim staklom, prouzrokujući pri tome na njemu karakteristična oštećenja u vidu koncentričnog kruga, ili više koncentričnih krugova različitog radijusa sa istim centrom, koji zapravo predstavlja mesto kontakta. Od centra oštećenja, u kome se često mogu pronaći i vlasi kose, naprsnuća vetrobranskog stakla se zrakasto šire ka spolja, dajući mu pri tome izgled "paukove mreže".

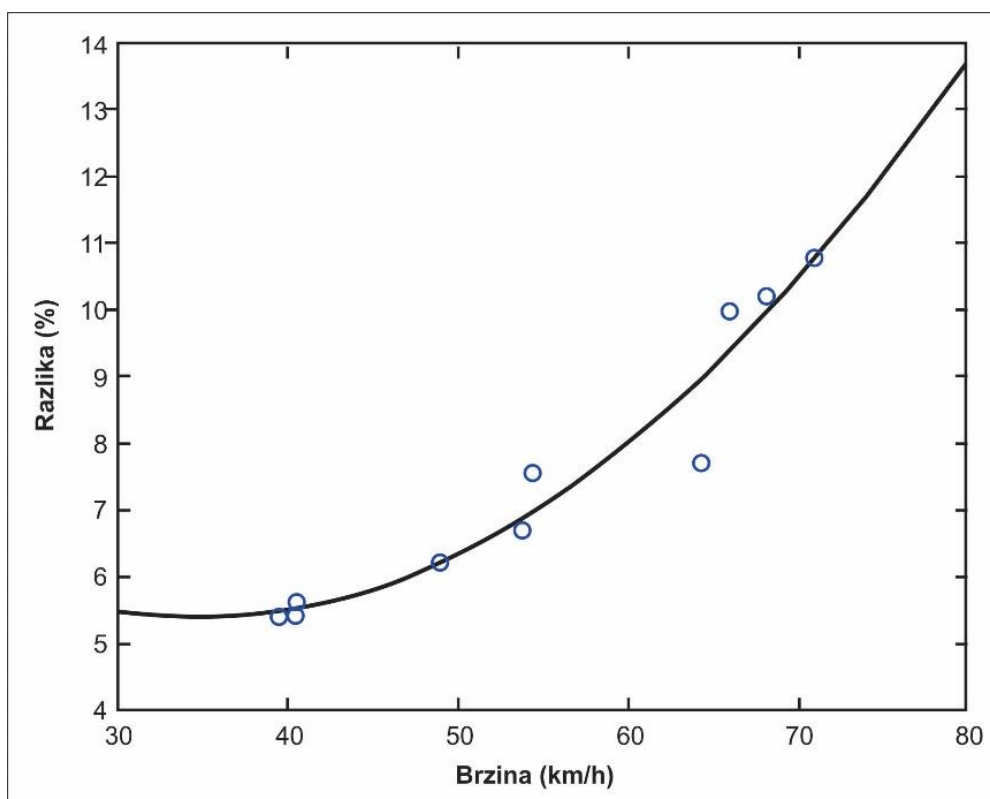


Slika 6.1 Karakteristična oštećenja vetrobranskog stakla nastala usled kontakta sa glavom pešaka

Prednje vetrobransko staklo na vozilu je laminirano, odnosno dvoslojno. Spoljni sloj čini staklo koje je termički obrađeno, a što mu daje čvrstinu i otpornost na udare. Unutrašnje

staklo je kaljeno i mekše, otpornije na opterećenja. Između dva sloja stakla nalazi se polimerna masa polivinil butiral (PVB), čije su osnovne funkcije da amortizuje udar kao i da održi staklo u celini u slučaju prskanja i na taj način spreči povređivanje lica u vozilu. Svojstvo PVB-a će dovesti do toga da prilikom prskanja vetrobranskog stakla usled kontakta sa glavom pešaka, ne dođe do njegovog rasipanja već do potiskivanja ka unutrašnjem delu vozila. Zbog navedenih činjenica, kod saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka često izostaju tragovi u vidu komadića vetrobranskog stakla na kolovozu, što takođe otežava njihovu rekonstrukciju.

U svom radu, Xu i saradnici ([Xu et al., 2009](#)), definisali su kompleksan matematičko-dinamički model za utvrđivanje naletne brzine na pešaka, koji nije zasnovan na daljini odbočaja tela pešaka, već na parametrima koje je moguće utvrditi i naknadno, a to su: dimenzije vetrobranskog stakla, mesto kontakta glave pešaka sa vetrobranskim staklom, udubljenje vetrobranskog stakla, moment inercije vetrobranskog stakla i pešaka, Jangov modul elastičnosti i Poasonov odnos između PVB, stakla i glave pešaka, masa vozila, masa pešaka, kao i masa i radijus zaobljenja glave pešaka. Definisan model je testiran na uzorku od 10 realnih saobraćajnih nezgoda u kojima je naletna brzina na pešaka utvrđena na osnovu dužine puta kočenja vozila, te se u tom smislu može smatrati tačnom.

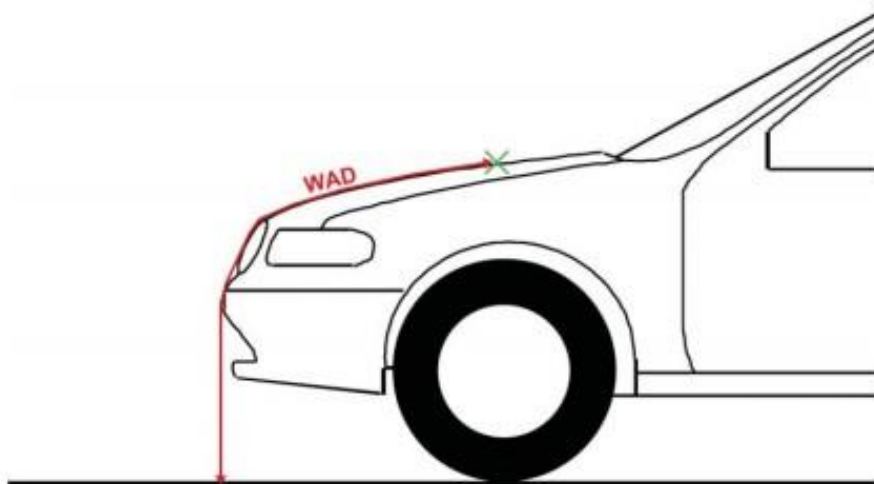


Slika 6.2 Uporedna analiza sudarnih brzina dobijenih modelom (Xu et al., 2009) sa brzinama vozila utvrđenih u realnim saobraćajnim nezgodama

Analizom je utvrđeno najveće odstupanje od brzine utvrđene modelom od 10,78%, dok je srednje odstupanje iznosilo 7,56%. Autori su ukazali i na ograničenje koje se odnosi na to da model nije primenjiv kod naleta na pešaka velikim brzinama, jer u tim slučajevima može doći do višestrukog oštećenja prednjeg vetrobranskog stakla, pa čak i do njegovog probijanja.

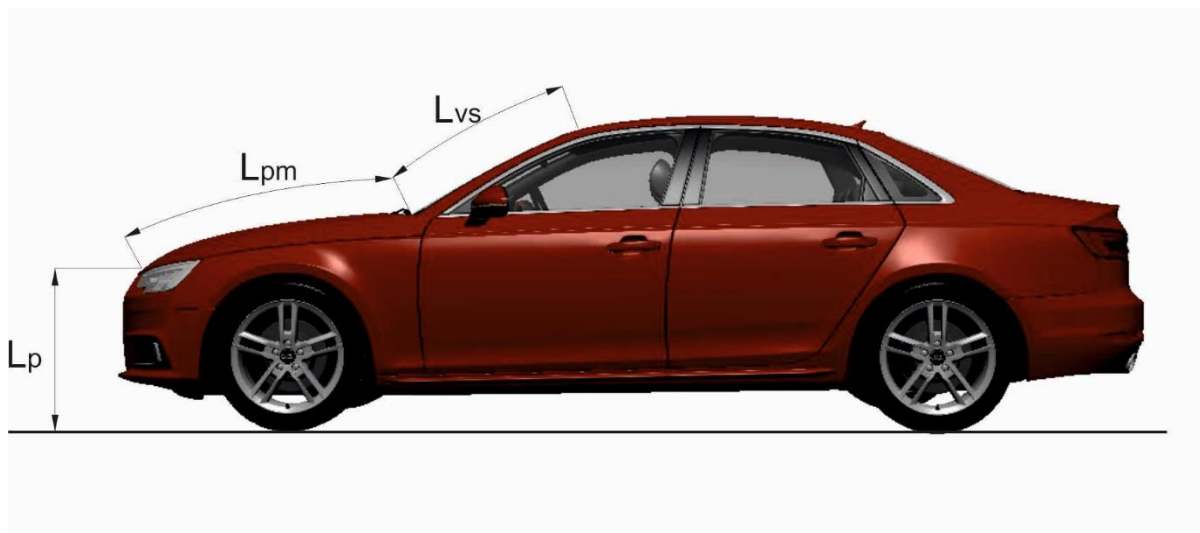
U cilju boljeg razumevanja oštećenja na vozilima nastalih u saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka ([Ashton et al., 1978](#)), uspostavljena je veličina koja definiše rastojanje

između ravni kolovoza i visine na kojoj je glava pešaka ostvarila kontakt sa gornjim delovima vozila (WAD- Wrap Around Distance) (slika 6.3).



Slika 6.3 Rastojanje između ravni podloge i mesta kontakta glave pešaka sa vozilom (WAD)

Kako bi prikazali karakteristične delove vozila na kojima mogu nastati oštećenja prilikom kontakta sa glavom pešaka (WAD), Yuan i saradnici ([Yuan et al., 2017](#)), su čeonu deo vozila podelili na tri dela, gde je L_p visina na kojoj se nalazi donja ivica poklopca motora, L_{pm} dužina poklopca motora, a L_{vs} dužina vetrobranskog stakla.



Slika 6.4 Karakteristične visine na prednjem delu vozila za utvrđivanje parametra WAD

Na uzorku od 20 različitih putničkih automobila, oni su utvrdili karakteristične dužine na prednjem delu vozila relevantne za analizu saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka, koje su date u tabeli 6.1.

Tabela 6.1 Karakteristične dužine na vozilu relevantne u analizi naleta na pešaka

	Lp (cm)	Lpm (cm)	Lvs (cm)	Ukupno (cm)
Prosečno	73,9	99,3	95,1	268,3
Minimum	66	76	73	249
Maksimum	82	121	113	286
SD	3,96	13,03	10,00	5,44

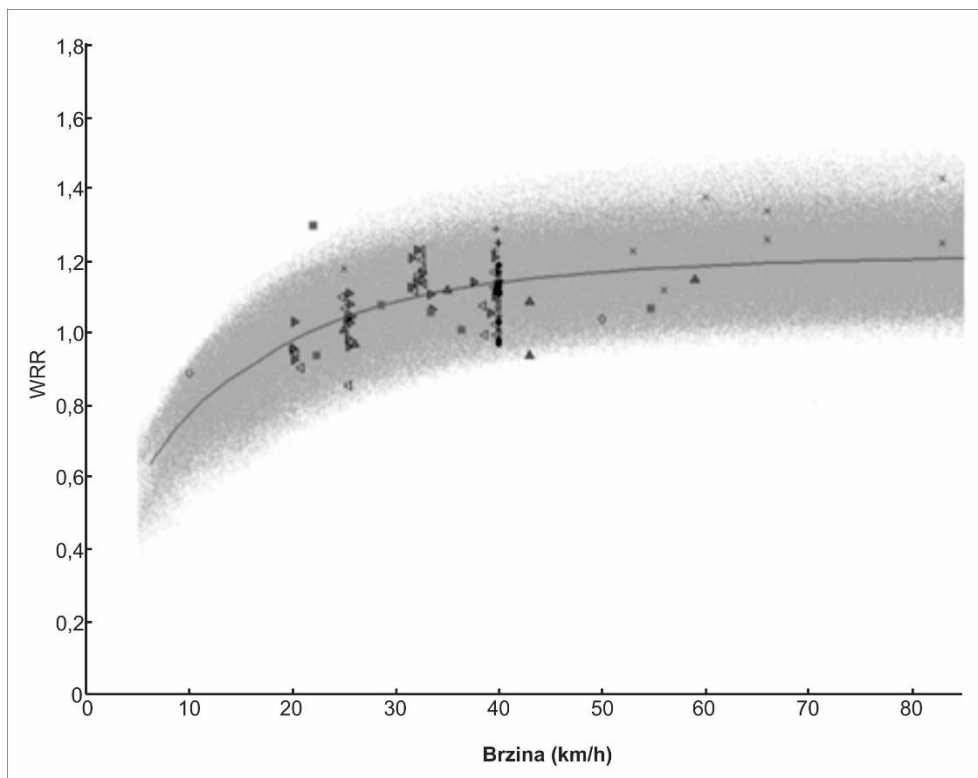
Na osnovu simulacija primenom metode konačnih elemenata (FE), a uzimajući u obzir karakteristično vozilo tipa "VW JETTA", 50. percentilni model pešaka muškog pola i asfaltnu kolovoznu podlogu, uspostavljen je model za utvrđivanje WAD vrednosti u funkciji naletne brzine vozila:

$$L \approx 4,8 \cdot 10^{-3} \cdot V + 1,4443 \quad 6.1$$

gde je L zapravo WAD vrednost, izražena u m , dok je brzina vozila izražena u km/h .

Simulacijama je utvrđeno da režim kretanja vozila, odnosno intenzitet usporenja, kao i brzina kretanja pešaka (od mirovanja do kretanja normalnim hodom), nemaju značajnog uticaja na WAD vrednosti. S druge strane, utvrđen je značajan uticaj visine prednjeg dela vozila (L_p) na WAD vrednost. Uporednom analizom, na primeru realnih saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka, zaključeno je da odstupanje naletnih brzina vozila primenom definisanog modela od naletnih brzina utvrđenih na osnovu tragova na kolovozu nastalih u nezgodama, iznosi oko 10%.

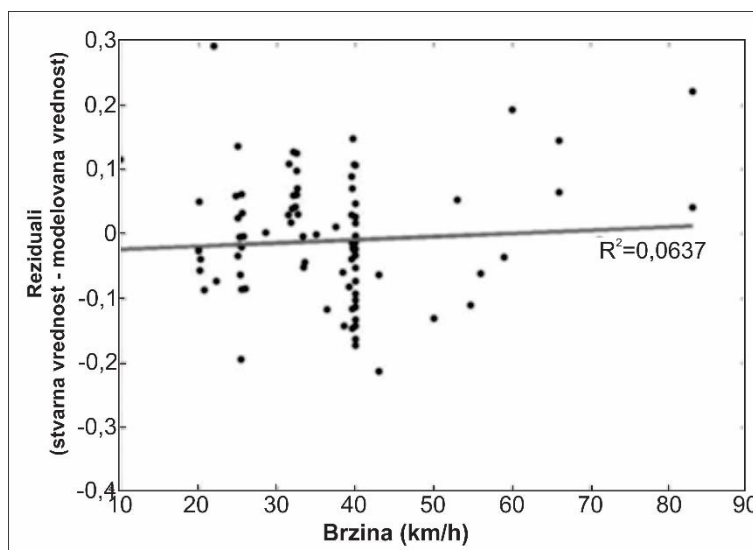
Wood i saradnici ([Wood et al., 2013](#)), zaključuju da je pogodniji parametar za analizu saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka odnos između WAD i stasa pešaka, odnosno WRR (Wrap Around Ratio), jer on uzima u obzir i visinu pešaka kao bitan parametar u kinematici naleta. Parametar WRR pruža alternativnu mogućnost za utvrđivanje naletne brzine vozila na osnovu oštećenja na njemu, odnosno na osnovu mesta kontakta glave pešaka sa gornjim delovima vozila kod naleta u kojima telo pešaka nakon kontakta biva odbačeno ispred vozila, a koji su ujedno i najčešći (tzv. "wrap" trajektorija). Za potrebe istraživanja oni su uspostavili model pešaka sa konstantnim inercijalnim svojstvom (CIP-Constan Inertional Property), koji predstavlja trodimenzionalnu modifikaciju prethodno korišćenog ravanskog modela pešaka (SSM-Single Segment Model). U primeni ovog simulacionog modela, zasnovanog na Monte Carlo metodi, pešak je definisan kao kruto telo, sa konstantnim momentom inercije, primarni kontakt se ostvaruje donjim ekstremitetima, a sekundarni glavom pešaka, pri čemu su ovi sudari plastični i koncentrisani su u jednoj tački.



Slika 6.5 Uporedna analiza Wood-ovog modela dobijenog Monte Carlo metodom sa WRR vrednostima utvrđenim eksperimentalnim istraživanjima

Rezultati istraživanja su pokazali da nema razlika između WAD vrednosti kod potpunog čeonog naleta vozila na pešaka koji je ka vozilu okrenut bočnom, odnosno prednjom ili zadnjom stranom.

Na sledećoj slici je prikazan raspored reziduala između modelovanih vrednosti WRR na osnovu naletne brzine vozila i eksperimentalno utvrđenih vrednosti ovog parametra.



Slika 6.6 Dijagram reziduala između modelovanih vrednosti i eksperimentalno utvrđenih vrednosti parametra WRR

Sa slike 6.6 se može videti da su reziduali realno utvrđenog parametra WRR relativno dobro raspoređeni u odnosu na modelovanu vrednost, uz napomenu da je njihov najširi dijapazon zastupljen pri naletnoj brzini od 40 km/h, a što se opet može objasniti očiglednom činjenicom da je pri ovoj brzini realizovan i najveći broj testova.

Glynn i Wood su u svom radu prikazali uticaj oštećenja vozila na brzinu kretanja pešaka ([Glynn & Wood, 2015](#)). I u ovom istraživanju je uspostavljen model pešaka sa konstantnim inercijalnim svojstvima (CIP-Constan Inertional Property), a na vozilu su definisane lokacije oštećenja u primarnom i sekundarnom kontaktu sa pešakom – odnosno pozicija kontakta prednjeg dela vozila i donjih ekstremiteta pešaka i pozicija kontakta poklopca motora/vetrobranskog stakla sa gornjim delom tela pešaka prilikom nabačaja (slika 6.7).

Regresionom analizom je utvrđeno da postoji linearna zavisnost između odnosa brzine pešaka i vozila (V_p/V_s) i odnosa poprečne i uzdužne distance mesta kontakta na vozilu u primarnom i sekundarnom delu naleta (H/L). Linearna zavisnost je utvrđena za tri položaja tela pešaka u trenutku primarnog kontakta i više percentilnih rangova (tabela 6.2).

Tabela 6.2 Rezultati regresione analize, koji su sprovedeni na CIP modelima pešaka

Slučaj naleta vozila na pešaka	Percentilni rangovi	Jednačina
pozicija pešaka nepoznata (poznato je samo da se telo pešaka nalazilo unutar profila vozila)	2,5%	$V_p/V_s = -0,039 + 0,93 \cdot H/L$
	25%	$V_p/V_s = -0,013 + 0,96 \cdot H/L$
	75%	$V_p/V_s = 0,026 + 0,94 \cdot H/L$
	97,5%	$V_p/V_s = 0,100 + 0,97 \cdot H/L$
pešak je u režimu kretanja, a primarni kontakt je ostvaren s nogom, kojom nije oslonjen na podlogu	2,5%	$V_p/V_s = -0,049 + 0,94 \cdot H/L$
	25%	$V_p/V_s = -0,022 + 0,95 \cdot H/L$
	50%	$V_p/V_s = -0,010 + 0,94 \cdot H/L$
	75%	$V_p/V_s = 0,002 + 0,94 \cdot H/L$
	97,5%	$V_p/V_s = 0,030 + 0,92 \cdot H/L$
pešak je u režimu kretanja, a primarni kontakt je ostvaren s nogom, kojom je oslonjen na podlogu	2,5%	$V_p/V_s = 0,034 + 0,85 \cdot H/L$
	25%	$V_p/V_s = 0,067 + 0,89 \cdot H/L$
	50%	$V_p/V_s = 0,078 + 0,92 \cdot H/L$
	75%	$V_p/V_s = 0,093 + 0,94 \cdot H/L$
	97,5%	$V_p/V_s = 0,112 + 0,94 \cdot H/L$

Izvor: ([Glynn & Wood, 2015](#))

6.2. Intenzitet oštećenja vozila

Pored mesta kontakta glave pešaka sa gornjim delovima vozila, bitan pokazatelj naletne brzine je i intenzitet oštećenja na vozilu, odnosno ekvivalent brzine vozila utrošene u sudaru na deformacioni rad (EES – Energy Equivalent Speed). Dosadašnja praksa u oblasti

ekspertiza saobraćajnih nezoda je pokazala da stručnjaci iz ove oblasti, na osnovu stečenog iskustva, mogu dati sasvim objektivne procene u vezi naletne brzine na pešaka na osnovu lokacije i intenziteta oštećenja na vozilu. Upravo u tom smislu, za potrebe ovog rada, formirana je ordinalna skala, na osnovu koje se verbalnim i vizuelnim putem može oceniti i iskazati intenzitet i lokacija oštećenja na vozilu koje je učestvovalo u saobraćajnoj nezgodi sa učešćem pešaka.

Po ugledu na A/S skalu, opisanu u prethodnom poglavlju, formirana je ordinalna skala, kojom se opisuju oštećenja na vozilu prilikom naleta vozila na pešaka. Prvobitni pokušaj da ova skala ima isti ili približni broj nivoa kao i A/S skala povreda nije dala najbolje statističke pokazatelje. Iz tog razloga, ukazala se potreba da se skala koja definiše oštećenja vozila razloži na više nivoa. Definisana skala se sastoji od 15 nivoa - od minimalne vrednosti (1) koja opisuje vozila bez vidljivih oštećenja, do maksimalne vrednosti (15) koja opisuje najveće havarije na vozilu koje je učestvovalo u saobraćajnoj nezgodi sa učešćem pešaka.

Tabela 6.3. Vrednosti parametra intenziteta oštećenja vozila

Oznaka	Opis	Vrednost
X7	ne postoje vidljiva oštećenja, osim obris prašine	1
	manja oštećenja na prednjem delu - savijena plastika, registarska tablica, napuklo staklo fara, zaparotine na boku vozila	2
	veća oštećenja na prednjem delu - polomljeno staklo fara, polomljen branik, otpali delovi	3
	manja ulubljenja poklopca motora ili prednjeg blatobrana, u prednjem delu, bez vidljivih oštećenja prednjeg dela	4
	manja ulubljenja poklopca motora ili prednjeg blatobrana, u prednjem delu, praćena i oštećenjem prednjeg dela vozila	5
	manja ulubljenja poklopca motora u zadnjem delu, praćena i oštećenjem prednjeg dela	6
	manja naprsnuća vetrobranskog stakla, praćena i oštećenjem prednjeg dela - nije oštećen poklopac motora	7
	manja naprsnuća vetrobranskog stakla, praćena i oštećenjem prednjeg dela, oštećen poklopac motora	8
	veća ulubljenja poklopca motora ili prednjeg blatobrana, u prednjem delu, praćena i oštećenjem prednjeg dela	9
	veća ulubljenja poklopca motora u zadnjem delu, praćena i oštećenjem prednjeg dela	10
	veća naprsnuća vetrobranskog stakla, praćena i oštećenjem prednjeg dela	11
	veća ulubljenja poklopca motora i veća naprsnuća vetrobranskog stakla, praćena i oštećenjem prednjeg dela	12
	veća ulubljenja poklopca motora u zadnjem delu i potpuno probijeno vetrobransko staklo, praćena i oštećenjem prednjeg dela	13
	oštećenje vetrobranskog stakla u vidu probijanja i oštećenje krova vozila, uz vetrobransko staklo	14
	potpuno havarisano vozilo - potpuno deformisan poklopac motora, krov, vetrobransko staklo razbijeno i ispalo	15

Izvor: (Saulić et al., 2020)

Na ovaj način se na osnovu deskriptivnog opisa oštećenja vozila definišu numerisane vrednosti, koja bi predstavljala intenzitet oštećenja. U narednim tabelama su prikazani intenziteti oštećenja hronološkim redom od najmanjih do najvećih vrednosti, kao i oznake koje

nose ista oštećenja. Svaka zasebna oznaka potkrepljena je sa dve fotografije, koje mogu da reprezentuju datu vrednost.

Tabela 6.4 Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 1 i 2, objašnjenje i primeri





Opis		Vrednost
ne postoje vidljiva oštećenja, osim obrisa prašine		1
		
Slika 6.7. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 1	Slika 6.8. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 1	
Opis		Vrednost
manja oštećenja na prednjem delu - savijena plastika, registarska tablica, napuklo staklo fara, ogrebotine na boku vozila		2
		
Slika 6.9. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 2	Slika 6.10. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 2	

Tabela 6.5. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 3 i 4, objašnjenje i primeri





Opis		Vrednost
veća oštećenja na prednjem delu - polomljeno staklo fara, polomljen branik, otpali delovi		3
		
Slika 6.11. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 3		Slika 6.12. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 3
Opis		Vrednost
manja ulubljenja poklopca motora ili prednjeg blatobrana, u prednjem delu, bez vidljivih oštećenja prednjeg dela		4
		
Slika 6.13. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 4		Slika 6.14. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 4

Tabela 6.6. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 5 i 6, objašnjenje i primeri

Opis		Vrednost
manja ulubljenja poklopca motora ili prednjeg blatobrana, u prednjem delu u vidu ulubljenja, praćena i oštećenjem prednjeg dela vozila		5
		
Slika 6.15. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 5		Slika 6.16. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 5
Opis		Vrednost
manja ulubljenja poklopca motora u zadnjem delu, praćena i oštećenjem prednjeg dela		6
		
Slika 6.17. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 6		Slika 6.18. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 6

Tabela 6.7. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 7 i 8, objašnjenje i primeri





Opis		Vrednost
manja naprsnuća vetrobranskog stakla, praćena i oštećenjem prednjeg dela - nije oštećen poklopac motora		7
		
Slika 6.19. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 7		Slika 6.20. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 7
Opis		Vrednost
manja naprsnuća vetrobranskog stakla, praćena i oštećenjem prednjeg dela, oštećen poklopac motora		8
		
Slika 6.21. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 8		Slika 6.22. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 8

Tabela 6.8. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 9 i 10, objašnjenje i primeri

Opis		Vrednost
veća ulubljenja poklopca motora ili prednjeg blatobrana, u prednjem delu, praćena i oštećenjem prednjeg dela		9
		
Slika 6.23. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 9		Slika 6.24. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 9
Opis		Vrednost
veća ulubljenja poklopca motora u zadnjem delu, praćena i oštećenjem prednjeg dela		10
		
Slika 6.25. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 10		Slika 6.26. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 10

Tabela 6.9. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 11 i 12, objašnjenje i primeri

Opis		Vrednost
veća naprsnuća vetrobranskog stakla, praćena i oštećenjem prednjeg dela		11
		
Slika 6.27. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 11		Slika 6.28. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 11
Opis		Vrednost
veća ulubljenja poklopca motora i veća naprsnuća vetrobranskog stakla, praćena i oštećenjem prednjeg dela		12
		
Slika 6.29. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 12		Slika 6.30. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 12

Tabela 6.10. Intenzitet oštećenja vozila za vrednosti 13 i 14, objašnjenje i primeri

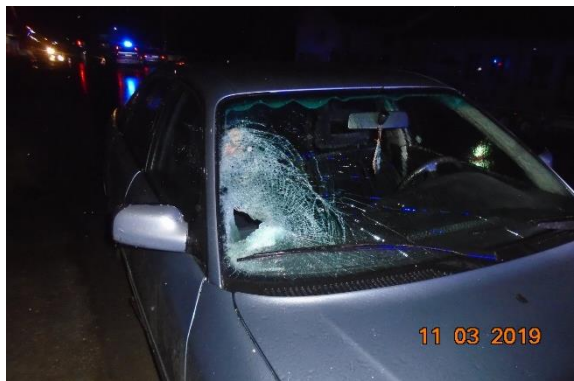



Opis		Vrednost
veća ulubljenja poklopca motora u zadnjem delu i potpuno probijeno vetrobransko staklo, praćena i oštećenjem prednjeg dela		13
		
Slika 6.31. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 13		Slika 6.32. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 13
Opis		Vrednost
oštećenje vetrobranskog stakla u vidu probijanja i oštećenje krova vozila, uz vetrobransko staklo		14
		
Slika 6.33. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 14		Slika 6.34. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 14

Tabela 6.11. Intenzitet oštećenja vozila za vrednost 15, objašnjenje i primeri

Opis	Vrednost
potpuno havarisano vozilo - potpuno deformisan poklopac motora, krov, vetrobransko staklo razbijeno i ispalo	15
	
Slika 6.35. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 15	Slika 6.36. Primer intenziteta oštećenja vozila koji odgovara vrednosti 15

7. DEFINISANJE PODRUČJA I METODA ISTRAŽIVANJA

Saobraćajne nezgode su slučajni i nepredvidivi događaji, koje nije moguće pratiti posmatranjem na terenu. One mogu biti eventualno snimljene sigurnosnom kamerom sa nekog objekta u blizini, saobraćajnim kamerama postavljenim na pojedinim lokacijama ili kamerama iz vozila. Postojanje video snimka saobraćajne nezgode u velikoj meri olakšava utvrđivanje okolnosti pod kojima je do nje došlo. I pored činjenice da se u poslednje vreme u okviru dokumentacije dostavljene na veštačenje sve češće nalaze i video zapisi, osnovu za rekonstrukciju saobraćajnih nezgoda ipak čine tragovi koji su nastali kao posledica njihovog dešavanja. Tragovi kočenja vozila nakon nezgode, odnosno zaustavna pozicija vozila fiksirana uviđajem u odnosu na tragove koji jasno ukazuju na mesto kontakta, najpouzdaniji su u postupku utvrđivanja naletne brzine vozila. Takođe je utvrđeno da postoji visoka korelacija između naletne brzine vozila i daljine odbačaja tela pešaka. Međutim, u praksi se pokazalo da podaci na osnovu kojih je moguće opredeliti naletnu brzinu na pešaka na osnovu gore navedenih parametara često nisu dostupni. Iz tog razloga, došlo se na ideju da je daljinu odbačaja tela pešaka, odnosno naletnu brzinu vozila u saobraćajnim nezgodama ovog tipa, moguće sa dovoljnom pouzdanošću opredeliti i na osnovu tragova i oštećenja na vozilima, nastalih kao posledica međusobnog kontakta.

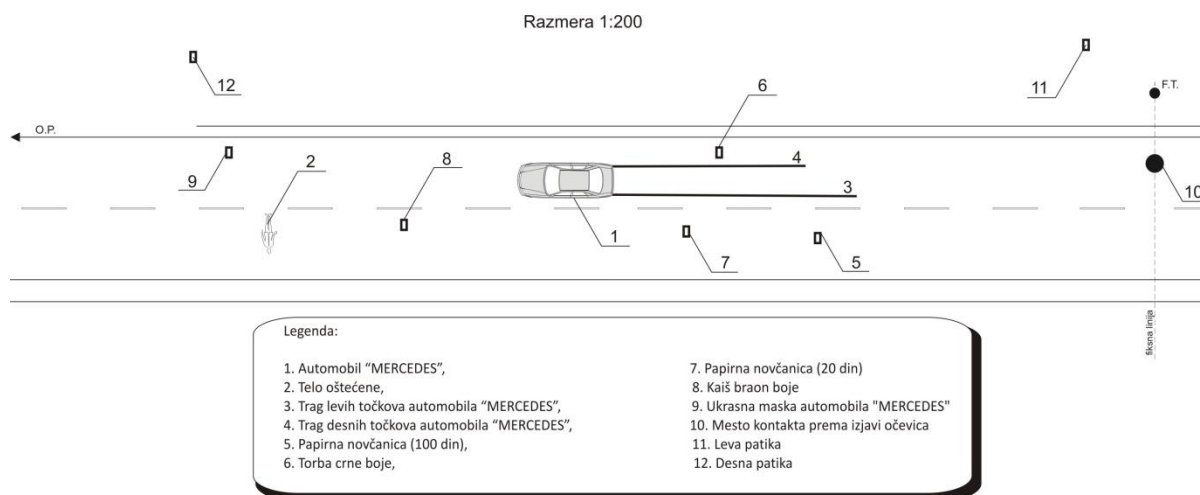
U tom smislu, za potrebe izrade ove disertacije, formirane su tri baze podataka:

- prvu bazu čine realne saobraćajne nezgode sa učešćem pešaka. Ova baza podataka je formirana na osnovu rezultata analiza ekspertskog tima Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.
- druga baza je vizuelni prikaz ekvivalenta brzina vozila utrošenih na deformacioni rad u saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka (EES katalog), koja je data u elektronskoj formi.
- treću bazu podataka čine rezultati testova na fizičkim modelima pešaka (crash testovi), koji su dostupni u okviru okruženja programskog paketa za simulaciju i rekonstrukciju saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka (PC CRASH).

7.1. Područje istraživanja

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije su bazirana na čeonim naletima putničkih automobila sa najčešće zastupljenim oblikom karoserije na pešaka (pontonski, klinasti). Naleti vozila sandučastog oblika karoserije na pešaka, kao i naleti tipa bočnog okrznuća, do sada ni nisu bili predmet ozbiljnijih istraživanja, pre svega zbog svoje manje zastupljenosti u ukupnoj strukturi saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka. Iz tog razloga, ovi tipovi saobraćajnih nezgoda nisu obuhvaćeni istraživanjem, pre svega zbog nemogućnosti adekvatne validacije modela poređenjem sa rezultatima eksperimentalnih istraživanja i rezultatima ekspertiza realnih saobraćajnih nezgoda.

Na osnovu analize dugogodišnjeg rada ekspertske komisije Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, formirana je baza podataka strukturirana prema različitim tipovima saobraćajnih nezgoda. Za potrebe ovog rada, izdvojene su saobraćajne nezgode u kojima je došlo do potpunih ili delimično čeonih naleta vozila na pešake. Iz ukupne strukture saobraćajnih nezgoda ovog tipa, izdvojene su nezgode u kojima su naletna brzina vozila i mesto kontakta sa pešakom utvrđeni na dovoljno pouzdan način, dok su oštećenja na vozilima dokumentovana kvalitetnim fotografijama. Pri tome se mora navesti i da su podaci o visini pešaka prikupljeni uglavnom na osnovu saobraćajnih nezgoda sa smrtnim ishodom pešaka, gde je njihova visina utvrđena u postupku obdukcije. Na taj način je formirana baza podataka "Ekspert", koja obuhvata podatke o 171 saobraćajnoj nezgodi sa učešćem pešaka i korišćena je u uspostavljanju modela.



Slika 7.1 Skica mesta nezgode u jednoj od saobraćajnih nezgoda u okviru baze „Ekspert“



Slika 7.2 Oštećenja na jednom od vozila nakon naleta na pešaka korišćena u bazi „Ekspert“

Jedan od pokazatelja intenziteta sudara odnosno naletne brzine vozila na prepreku je ekvivalent brzine vozila izgubljene na deformacioni rad (EES), o kome je bilo reči i u uvodnom izlaganju. Prema međunarodnom standardu ISO/DIS 12353-1:1996 (E), EES je definisan kao: *Ekvivalentna brzina kojom bi određeno vozilo trebalo da kontaktira neki nepomičan i nedeformabilan objekat da bi je utrošio na deformacionu energiju, koja odgovara oštećenjima nastalim na vozilu.* Na osnovu analiza realnih saobraćajnih nezgoda i eksperimentalnih testova na fizičkim modelima pešaka, formiran je katalog u elektronskom izdanju, u okviru koga su prikazana oštećenja na vozilima različitih tipova i modela, kojima odgovaraju određene EES vrednosti, izražene u km/h. Iz EES kataloga ([Gábor, 2005](#)) kao i iz baze podataka dostupne u okviru programskog paketa PC CRASH (Recon Data), izdvojene su kataloške vrednosti dokumentovane adekvatnim fotografijama, na osnovu kojih je formirana baza „EES katalog“, sa ukupno 23 različita slučaja.



Slika 7.3 Oštećenja na jednom od vozila u okviru baze “EES katalog”

U cilju prikupljanja podataka u vezi saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka, analizirani su rezultati eksperimentalnih istraživanja na fizičkim modelima pešaka, dostupni u

okviru posebnog modula programskog paketa PC CRASH 12.1. Na taj način je formirana baza podataka "PC Crash". Testovi su vršeni na Multibody antropometrijskim modelima pešaka, uz učešće različitih modela vozila i pri različitim naletnim brzinama. Kod ovakvih testova, čitava procedura sprovođenja je prethodno dobro isplanirana, a sam postupak se dokumentuje i to u predsudarnoj, sudarnoj i postsudarnoj fazi. Kretanje vozila i pešaka se snima super brzim kamerama, tako da se na osnovu snimaka može analizirati kinematika naleta, dok se oštećenja na vozilu nastala u testu fotografišu i utvrđuje se njihova tačna pozicija. Iz baze podataka programskog paketa PC CRASH, izdvojeno je 19 testova na fizičkim modelima pešaka, koji su korišćeni u formiranju modela.



Slika 7.4 Detalji iz jednog od testova korišćenih u formiranju baze podataka "PC Crash"

7.2. Metod istraživanja

Istraživanje sprovedeno u okviru doktorske disertacije je podeljeno na dva segmenta. Prvi se odnosi na prikupljanje i obradu podataka, a drugi na njihovu statističku analizu i prikaz rezultata.

Prilikom uviđaja saobraćajnih nezgoda, formira se dokumentacija koju u osnovi čini:

- zapisnik sa uviđaja, u kome je verbalnim putem opisan položaj materijalnih tragova registrovanih u zoni mesta nezgode, oštećenja na vozilu, kao i ostali parametri relevantni za analizu nezgode;
- situacioni plan mesta nezgode, u kome su ucrtane pozicije materijalnih tragova nastalih u nezgodi, kao i zaustavne pozicije učesnika nezgode;
- foto-elaborat, kojim je prikazan širi i uži izgled mesta nezgode, položaj i izgled materijalnih tragova nastalih u nezgodi, izgled tragova i oštećenja na vozilu, detalji tragova i dr.

Podaci prikupljeni u okviru ekspertske baze podataka, zasnovane na realnim saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka, bili su polazna osnova za čitavo istraživanje. Nakon prikupljanja podataka, izvršena je njihova klasifikacija na osnovu značajnih parametara relevantnih za dalju analizu, dok su neki podaci prikazani deskriptivno. Kao značajni parametri za analizu saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka identifikovani su: oblik karoserije vozila, visina prednjeg dela vozila, režim kretanja, intenzitet usporenja tokom kočenja, pozicija najvišeg oštećenja na vozilu, visina pešaka, tip naleta na pešaka, daljina odbačaja tela pešaka

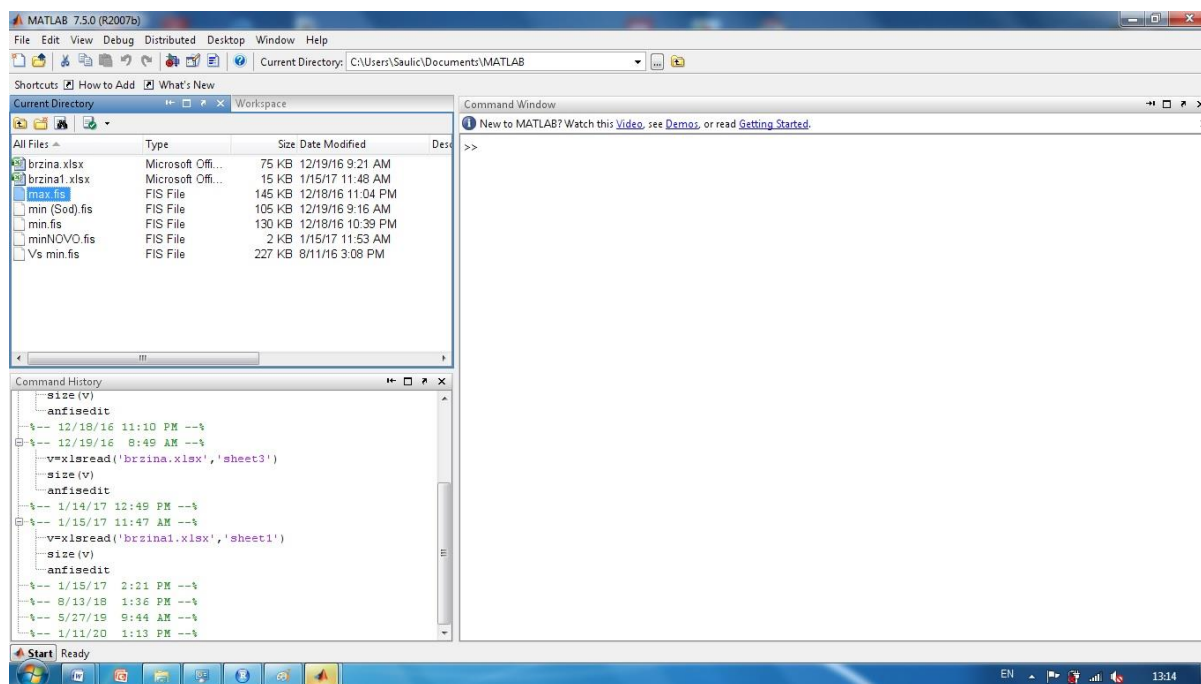
i intenzitet oštećenja na vozilu. Kod eksperimentalnih istraživanja naleta na fizički model pešaka, poznate su bile i naletne brzine vozila.

Većinu gore navedenih nezavisnih parametara je moguće i naknadno odrediti, ukoliko oni već nisu utvrđeni prilikom uviđaja. Npr. oštećenja na vozilu se mogu detaljnije analizirati i naknadnim pregledom vozila, a i na osnovu fotografija sa uviđaja, ukoliko su one dovoljno dobrog kvaliteta. Slično se može reći i za poziciju najvišeg oštećenja na vozilu, jer se ono takođe može naknadno utvrditi ili proceniti na osnovu uporedne analize sa vozilom iste marke i tipa. Visina pešaka se takođe utvrđuje naknadno, na osnovu podataka iz sudsko-medicinske dokumentacije ili neposrednim merenjem.

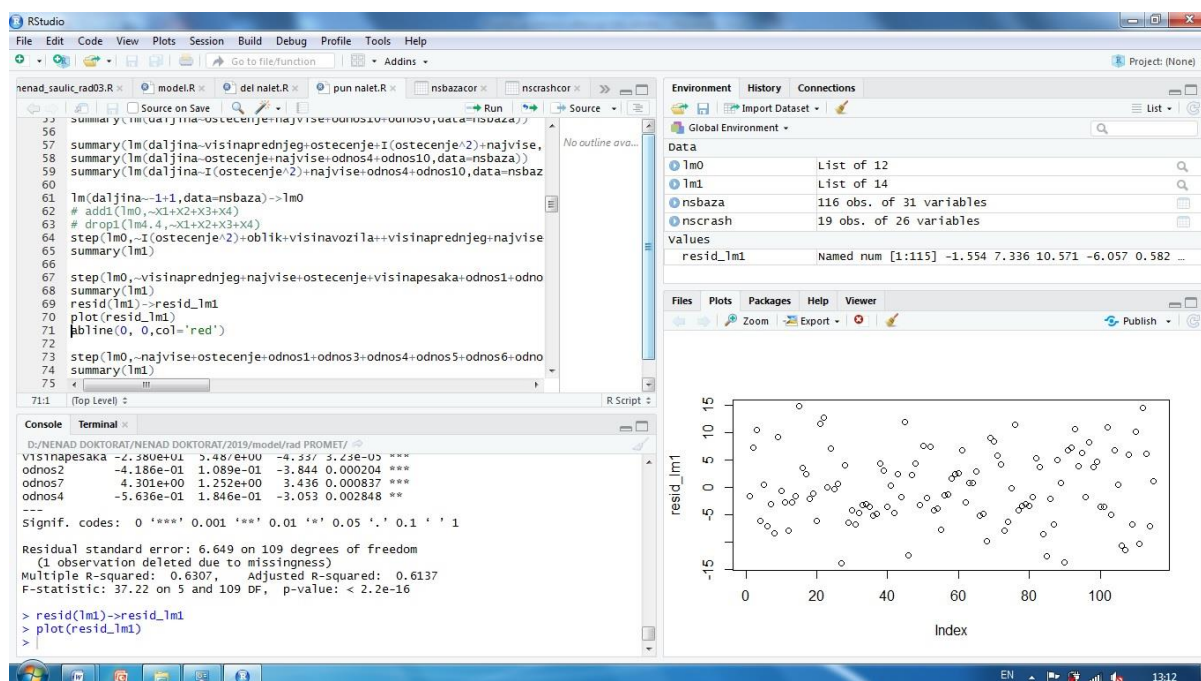
Svi podaci su klasifikovani u tabeli u programskom paketu MS Excel, dok je njihova statistička obrada izvršena u programima Matlab i RStudio.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	rbr	oblik	visinavozi	visinaprec	najvise	kocenje	tragovi	ostecenje	visinapesi	tezistepe	levodesnc	vidnaleta	odnosvisi	ugao	daljina						
2	1	1	1.41	0.75	9	2	1	5	1.53	0.86	1	1	2.04	3	11.4						
3	2	6	1.64	1.01	10	3	1	5	1.81	0.98	1	1	1.79	1	17.2						
4	3	3	1.38	0.75	10	1	0	8	1.7	0.95	4	1	2.27	0	21.3						
5	5	3	1.46	0.76	12	1	0	11	1.66	0.93	2	1	2.18	3	13.7						
6	10	1	1.38	0.72	12	3	1	11	1.75	0.98	1	1	2.43	3	16.2						
7	12	3	1.32	0.68	7	3	1	5	1.56	0.85	1	1	2.29	3	5.4						
8	13	4	1.71	0.92	11	1	0	10	1.76	0.96	2	1	1.91	2	16						
9	19	3	1.43	0.75	8	3	1	5	1.63	0.89	1	1	2.17	3	3.2						
10	31	1	1.4	0.68	12	1	0	12	1.57	0.85	1	1	2.31	3	33						
11	32	1	1.46	0.73	8	1	0	4	1.62	0.88	2	1	2.22	4	10.9						
12	33	1	1.44	0.83	14	2	1	14	1.92	1.08	4	1	2.31	0	28						
13	36	4	1.33	0.78	11	1	0	12	1.73	0.97	2	1	2.22	2	10.2						
14	38	3	1.38	0.75	13	2	1	14	1.93	1.08	1	1	2.57	3	23						
15	39	1	1.4	0.77	13	2	0	13	1.74	0.97	1	1	2.26	3	23.8						
16	40	1	1.41	0.77	13	3	1	14	1.75	0.98	1	1	2.27	3	45.7						
17	41	1	1.4	0.77	13	3	1	14	1.71	0.93	2	1	2.22	3	35						
18	47	3	1.41	0.74	7	3	1	5	1.3	0.71	1	1	1.76	3	22.4						
19	50	1	1.37	0.81	10	2	0	13	1.6	0.87	1	1	1.98	3	23.2						
20	54	3	1.43	0.75	12	1	0	12	1.79	0.97	2	1	2.39	3	18.3						
21	59	1	1.44	0.83	8	3	1	8	1.56	0.85	1	1	1.88	2	11.3						
22	61	3	1.38	0.75	9	2	1	12	1.77	0.99	5	1	2.35	0	30.3						
23	63	3	1.39	0.78	11	2	1	13	1.77	0.99	1	1	2.26	3	34.8						
24	64	3	1.41	0.74	10	3	1	7	1.62	0.88	2	1	2.19	2	11.9						
25	67	3	1.38	0.75	13	2	1	14	1.77	0.99	1	1	2.35	3	36.6						
26	73	1	1.36	0.75	7	3	1	5	1.75	0.98	1	1	2.33	3	8.15						

Slika 7.5 Izgled Spreadsheet tabele u programu MS Excel



Slika 7.6 Radno okruženje u softveru Matlab



Slika 7.7 Radno okruženje u softveru RStudio

Pri izradi modela daljine odbačaja pešaka i brzine kretanja vozila u trenutku naleta, korišćena je višestruka linearna regresija. Za statističko zaključivanje o modelu korišćeni su: t -test, koeficijent determinacije kao i određivanje p -vrednosti. Nakon definisanja modela, vršeno je poređenje vrednosti dobijenih odabranim modelom i stvarnih vrednosti brzina kretanja vozila, utvrđenih na "crash" testovima. Rezultati su takođe testirani i na bazi formiranoj na osnovu EES kataloga, u kome su prikazana oštećenja na vozilima u saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka kod kojih su naletne brzine poznate. Istraživanje se završava testiranjem modela na bazi podataka prikupljenoj na osnovu izvršenih

simulacija saobraćajnih nezgoda sa fizičkim modelom pešaka, upoređivanjem rezultata dobijenih modelom i vrednosti dobijenih primenom drugih postojećih modela.

7.2.1. Faktorska analiza

Za kreiranje matematičkog modela na raspolaganju je više promenljivih (parametara) dostupnih u okviru baza podataka. Da bi se utvrdile međuzavisnosti i grupe promenljivih, nad podacima se sprovodi eksploratorna faktorska analiza (EFA). To je tehnika pronalaženja međuzavisnosti promenljivih koje su slične, u smislu da se „zajedno pomeraju“. Na taj način se mogu prepoznati latentni faktori. Pri tome je potrebno uključiti nekoliko promenljivih koje mogu da reprezentuju određeni faktor. Značaj faktorske analize je u pronalaženju šablona unutar grupe promenljivih. Odnos veličine uzorka prema broju promenljivih pri primeni EFA treba da je najmanje 5:1. U protivnom, rezultate treba uzeti sa velikom rezervom ([Savić, 2016](#)).

Tabela 7.1 ima 15 promenljivih, što znači da je minimalan broj elemenata potreban za faktorsku analizu 75. Prilikom utvrđivanja adekvatnog modela za predikciju daljine odbačaja pešaka, primenjivana je ekspertna baza („Ekspert“), u kojoj je obrađen 171 slučaj, tako da veličina ovog uzorka zadovoljava osnovni kriterijem za primenu faktorske analize. U izboru modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku kontakta sa pešakom primenjivana je i baza podataka formirana na osnovu sprovedenih „crash“ testova. Za kreiranje modela za određivanje naletne brzine vozila, iz ove baze su izdvojene svega tri promenljive, odnosno daljina odbačaja pešaka, visina nabačaja tela pešaka na vozilo i intenzitet oštećenja, tako da i u ovom slučaju uzorak od 19 analiziranih testova zadovoljava kriterijum za primenu faktorske analize.

7.2.2. Koeficijent korelacije

Da bi se utvrdilo kakva je veza između dve ili više promenljivih, treba proveriti njihovu korelativnu povezanost. Ako postoji značajna korelacija između dve varijable, vrednost jedne varijable može se iskoristiti za predikciju vrednosti druge. Od parametarskih mera povezanosti dve varijable najviše se koristi koeficijent korelacije:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \sum(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}, \quad 7.1$$

gde je $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i$.

U modelu 7.1 figurišu sledeći parametri:

- x_i – vrednosti jedne promenljive;
- y_i – vrednosti druge promenljive;
- n – veličina uzorka.

Vrednost ovog koeficijenta je merilo jačine linearne veze između promenljivih i kreće se između „-1“ i „+1“, koje predstavljaju savršenu negativnu, odnosno savršenu pozitivnu korelaciju, respektivno. Ukoliko je predznak koeficijenta „+“ to znači da je veza između dve varijable pozitivna, odnosno da se povećanjem jednog elementa i drugi povećava. Ukoliko je

predznak koeficijenta “-“ to znači da je veza između dve varijable negativna, odnosno da se povećanjem jednog elementa drugi smanjuje. Pored smera (predznaka), bitan je i stepen/jačina povezanosti. Što je apsolutna vrednost ovog parametra veća (nebitno da li je predznak “+” ili “-“), jača je veza između promenljivih.

Postoji više kriterijuma u tumačenju koeficijenta korelacije. Prema Ratneru koriste se sledeći kriterijumi ([Ratner, 2003](#)):

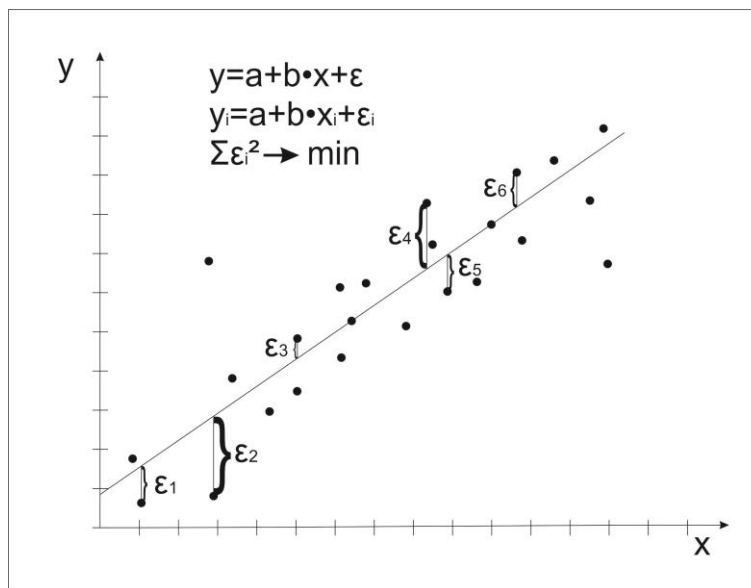
- 0 ne pokazuje nikakvu linearnu vezu,
- $|\pm 1|$ označava savršenu linearnu vezu,
- $|0 \div \pm 0,3|$ ukazuje na slabu linearnu vezu,
- $|\pm 0,3 \div \pm 0,7|$ ukazuje na umerenu linearnu vezu,
- $|\pm 0,7 \div \pm 1|$ ukazuje na jaku linearnu vezu.

Prema Petzu, koriste se sledeći kriterijumi u tumačenju korelacionog koeficijenta ([Petz, 1997](#)):

- 0 ne pokazuje nikakvu linearnu vezu,
- $|\pm 1|$ označava savršenu linearnu vezu,
- $|0 \div \pm 0,2|$ ukazuje na neznatnu povezanost između varijabli,
- $|\pm 0,2 \div \pm 0,4|$ ukazuje na laku povezanost između varijabli,
- $|\pm 0,4 \div \pm 0,7|$ ukazuje na stvarnu značajnu povezanost između varijabli,
- $|\pm 0,7 \div \pm 1|$ ukazuje na visoku ili vrlo visoku povezanost između varijabli.

7.2.3. Regresiona analiza, p-vrednost i koeficijent determinacije

Regresiona analiza predstavlja statističku tehniku kojom se formira jednačina koja povezuje zavisnu promenljivu sa jednom ili više nezavisnih promenljivih. Rezultat analize može biti linearni ili polinomski model. U okviru regresione analize se traži adekvatna regresiona jednačina koja bi na najbolji način vršila predikciju responske promenljive. Regresioni koeficijenti (a,b,c..) određuju se metodom najmanjih kvadrata, odnosno tako da je suma kvadrata vertikalnih odstupanja tačaka od linije regresije najmanja ([Kutner et al., 2005](#)). Kako je u toku ovog istraživanja korišćeno više prediktorskih promenljivih, primenjena je višestruka linearna regresija (jednačina 7.2).



Slika 7.8 Primer linearne regresije sa jednom prediktorskom varijablom

Višestruka linearna regresija ima sledeći oblik:

$$y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + d \cdot x_3 \dots \quad 7.2$$

Gde je:

- y – responsna promenljiva;
- $x_1, x_2, x_3 \dots$ – prediktorske promenljive;
- $a, b, c \dots$ – regresioni koeficijenti.

Prilikom modelovanja, elementi na koje je potrebno obratiti pažnju su: značajnost prediktorskih elemenata u modelu, p-vrednost i koeficijent determinacije (R^2 i R^2 -adj).

Značajnost prediktorske promenljive ukazuje da li se pojedini element iz jednačine oblika 7.2 može zanemariti ili ne, odnosno da li se regresioni koeficijent koji stoji uz pomenuti element može izjednačiti sa nulom. p-vrednost predstavlja verovatnoću da je, pod pretpostavkom da je određeni koeficijent izjednačen sa nulom, posmatrana slučajna promenljiva ostvarila barem onu vrednost koja je izračunata regresionim modelom. Pri tome se koristi 5 nivoa značajnosti:

- veoma snažna značajnost – p-vrednost se kreće u intervalu 0 – 0.001,
- snažna značajnost – p-vrednost se kreće u intervalu 0.001 – 0.01,
- značajno – p-vrednost se kreće u intervalu 0.01 – 0.05,
- sumnjiva značajnost – p-vrednost se kreće u intervalu 0.05 – 0.1,
- nema značajnosti – p-vrednost se kreće u intervalu 0.1-1.

Koeficijent determinacije (R^2) je ukupna varijansa responsne promenljive Y koja se objašnjava, ili pripisuje varijansi prediktorske promenljive X . Za model sa dva parametra, koeficijent determinacije se dobija kvadriranjem koeficijenta korelacije (r) iz modela 7.1. Kako se vrednost koeficijenta korelacije kreće u intervalu između “-1” i “+1”, jasno je da vrednost

koeficijenta determinacije varira između vrednosti 0 i 1. Uvođenjem novih prediktivnih promenljivih u model, povećava se vrednost koeficijenta determinacije, jer se na bolji način može opisati vrednost responsne promenljive. Uvodom pojedinih promenljivih, skok koeficijenta determinacije može biti značajan, a kod nekih ne. Korigovani koeficijent determinacije ($R^2\text{-adj}$) se uspostavlja sa ciljem da se pokaže da li je uvođenje novih prediktivnih elemenata opravdano ili ne. Korigovani koeficijent determinacije se određuje prema sledećem izrazu ([Everitt & Skrondal, 2010](#); [Wherry, 1931](#)):

$$R^2\text{adj} = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n - p}{n - 1} \quad 7.3$$

Gde je:

- $R^2\text{adj}$ – korigovani koeficijent determinacije;
- R^2 – koeficijent determinacije;
- n – veličina uzorka;
- p – broj prediktivnih elemenata u modelu.

Prema načinu uključivanja varijabli u model višestruke regresije, postoje:

1. Simultana / standardna regresija ("Enter"), u kojoj se sve varijable uključuju odjednom,
2. Hijerarhijska regresija, u kojoj, na osnovu teorijskog modela, postoji unapred određen redosled unosa varijabli, jedna po jedna ili po blokovima,
3. "Stepwise" regresija (korak po korak), u kojoj je redosled unosa varijabli na osnovu statističkog kriterijuma:
 - "Forward" – unos varijabli jedna po jedna,
 - "Backward" – unete sve varijable u početni model, a zatim se uklanjaju jedna po jedna, koja najmanje doprinosi modelu,
 - "Stepwise selection" – kombinacija prethodne dve procedure.

7.2.4. Apsolutna i relativna greška

Nakon izbora modela, neophodno je izvršiti njegovo testiranje. Prilikom testiranja, modelovane vrednosti se porede sa stvarno definisanim parametrima i na taj način utvrđuje apsolutna i relativna greška.

Apsolutna greška predstavlja odstupanje modelovane vrednosti od izmerene (stvarne) vrednosti nekog parametra, dok se srednja apsolutna greška dobija kao srednja vrednost apsolutnih odstupanja modelovane i izmerene vrednosti.

$$\Delta x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |y_i^{\text{mod}} - y_i^{\text{izm}}| \quad 7.4$$

Jedinica u kojoj se izražava ova greška je ista kao i ona u kojoj se izražava parametar za koji se istražuje model. U idealnim slučajevima, kada model u potpunosti opisuje neki element, vrednost ove greške teži nuli, što znači da se izmerena i modelovana vrednost znatno ne razlikuju.

Relativna greška prikazuje relativni odnos apsolutne greške i izmerene vrednosti nekog parametra. Kako se ova greška dobija iz odnosa dve veličine koje imaju iste jedinice, ona je bezdimenzionalna, te se izražava u procentualnim vrednostima (od 0 do 100%).

7.3. Formiranje baza podataka

Prilikom formiranja baze podataka "Ekspert" evidentirani su sledeći podaci:

- osnovni podaci saobraćajnoj nezgodi - mesto i vreme nastanka nezgode;
- osnovni podaci o vozilu - vrsta, marka i tip;
- osnovni podaci o pešaku - pol, starosna dob, visina (podatak o visini je korišćen za proračun visine težišta pešaka), telesna masa i režim kretanja;
- podaci o dinamičkim elementima nezgode - režim kretanja vozila (kočeno, nekočeno, ubrzavano), da li je kontakt ostvaren pre ili posle početka puta kočenja, da li su na kolovozu ostali vidljivi tragovi kočenja, mesto zaustavljanja vozila u odnosu na mesto naleta, deo vozila kojim je ostvaren primarni kontakt, tip naleta (položaj pešaka u odnosu na vozilo), daljina odbačaja pešaka, visina najvišeg oštećenja na vozilu, kao i opis oštećenja na vozilu.

U okviru baze "PC Crash", evidentirana je većina parametara kao i u ekspertskoj bazi, ali i brzina vozila u trenutku naleta, s obzirom da je u postupku eksperimentalnog istraživanja bila poznata njena vrednost.

U bazi "EES katalog" nalaze se samo podaci o procenjenom intenzitetu oštećenja na vozilu, poziciji najvišeg oštećenja i srednjoj vrednosti dijapazona EES vrednosti date u elektronskom katalogu, s obzirom da su jedino oni i bili dostupni.

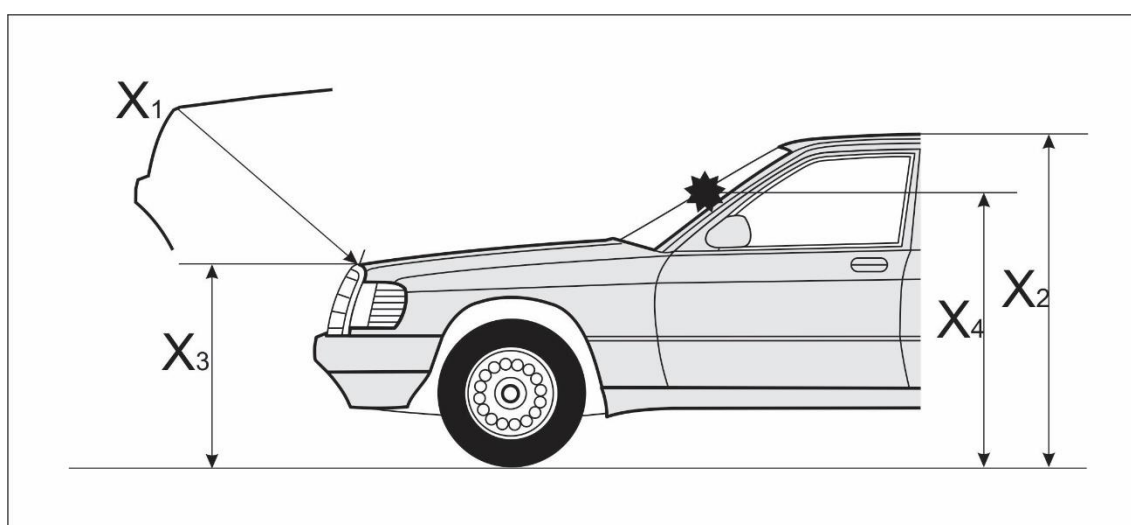
U narednoj tabeli su date sve promenjive sadržane u bazama podataka koje su bile predmet faktorske analize, kao i njihove oznake i vrednosti. Oblik karoserije vozila, pozicija najvišeg oštećenja, režim kretanja vozila, postojanje tragova kočenja, intenzitet oštećenja na vozilu, pozicija pešaka u odnosu na vozilo u trenutku kontakta, tip naleta i ugao između vektora brzina vozila i pešaka su u bazi uneti u kodiranom obliku, numeričkim putem, pri čemu su korišćene vrednosti od 0-..., zavisno od vrste promenljive. Visina vozila, visina prednjeg dela vozila, visina pešaka, odnosno visina težišta pešaka su izraženi u m, dok je naletna brzina izražena u km/h. Odnos između visine pešaka i visine prednjeg dela vozila je neimenovan broj.

Tabela 7.1 Definisane vrednosti prediktorskih promenljivih

Oznaka	Promenljiva	Opis	Vrednost (jedinica)
X_1	Oblik karoserije	limuzina	1
		kupe	2
		hečbek	3
		monovolumen	4
		karavan	5
		terensko vozilo	6
		pik-ap	7
X_2	Visina vozila	/	m
X_3	Visina prednjeg dela vozila	/	m
X_4	Pozicija najvišeg oštećenja	nema oštećenja	0
		0,1-0,2 m	1
		0,2-0,3 m	2
		0,3-0,4 m	3
		0,4-0,5 m	4
		0,5-0,6 m	5
		0,6-0,7 m	6
		0,7-0,8 m	7
		0,8-0,9 m	8
		0,9-1,0 m	9
		1,0-1,1 m	10
		1,1-1,2 m	11
		1,2-1,3 m	12
		1,3-1,4 m	13
		1,4-1,5 m	14
		1,5-1,6 m	15
X_5	Režim kretanja vozila	ravnomerno	1
		kočeno posle naleta	2
		kočeno pre naleta	3
		ubrzavano	4
X_6	Da li su ostali vidljivi tragovi kočenja?	ne	0
		da	1
X_7	Intenzitet oštećenja vozila	detaljnije opisano u poglavlju 6	1-15
X_8	Visina pešaka	/	m
X_9	Visina težišta pešaka	/	m

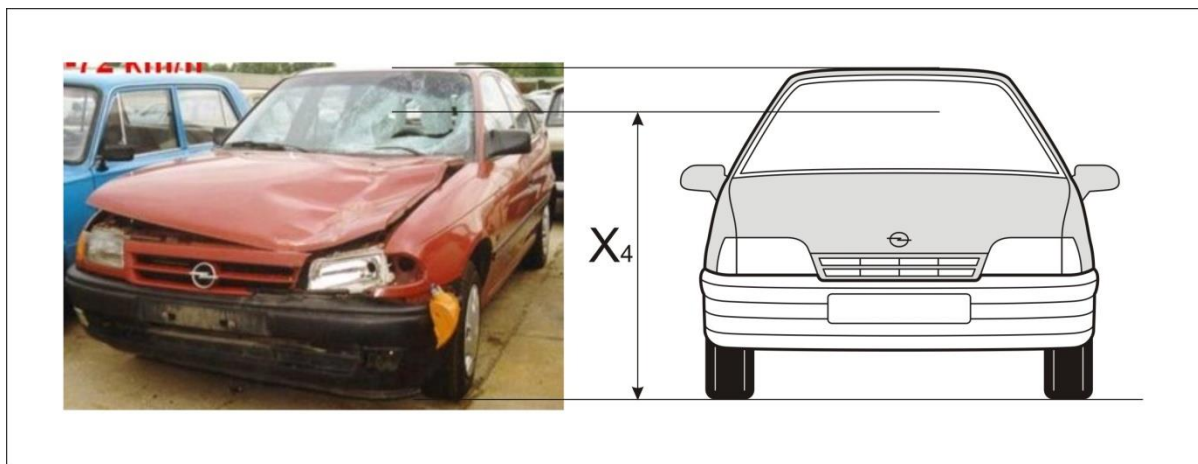
X_{10}	Pozicija pešaka u odnosu na vozilo	desna	1
		leva	2
		prednja	3
		zadnja	4
X_{11}	Tip naleta	potpun čeon	1
		delimičan u pravcu	2
		delimičan ulazni	3
		delimičan izlazni	4
X_{12}	Odnos visine pešaka i visine prednjeg dela vozila	/	
X_{13}	Ugao između vektora brzine kretanja vozila i pešaka	0°	0
		0°-45°	1
		45°-90°	2
		90°	3
		90°-135°	4
		135°-180°	5
		180°	6
		kontakt sa bočnom stranom vozila	7
S_{odb}	Daljina odbačaja tela pešaka	/	m
V_s	Brzina vozila u trenutku naleta	/	km/h

Utvrđivanje oblika karoserije vozila je vršeno vizuelno na osnovu fotografija sa uviđaja, a karakteristični oblici karoserije su u okviru baze numerički kodirani brojevima 1-6. Podaci o vozilu su korišćeni kako bi se naknadnom uporednom analizom geometrije vozila koja su učestvovala u nezgodama sa kataloškim karakteristikama vozila iste marke i tipa, mogle utvrditi dimenzije i veličine uvrštene u bazu.



Slika 7.9 Parametri geometrije vozila korišćeni u analizi

Zbog same prirode oštećenja na vozilima koja nastaju u saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka i najčešće nisu tačkastog karaktera, ne može se sasvim precizno govoriti o mestu na kome se ona nalaze. Iz tog razloga, za potrebe uvrštavanja mesta najvišeg oštećenja na vozilu u bazu podataka, formirane su klase širine po 10 cm, u okviru kojih je izvršeno njihovo pozicioniranje. Ova klase su numerički kodirane brojevima 0-15.



Slika 7.10 Utvrđivanje pozicije najvišeg oštećenja na vozilu



Slika 7.11 Utvrđivanje visine oštećenja na vozilu prilikom eksperimentalnih istraživanja na fizičkim modelima pešaka

Na osnovu rezultata sprovedenih eksperiza, brojevima 1-4 je kodiran režim kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka, dok je brojevima 0 i 1 kodirano nepostojanje, odnosno postojanje tragova kočenja vozila. Intenzitet oštećenja na vozilu je posebno analiziran u okviru prethodnog poglavlja, a za potrebe formiranja baze je kodiran brojevima 1-15.

Kada se posmatra pešak, evidentirani su podaci o starosnoj dobi, polu i visini, na osnovu čega je računskim putem ([Croskey et al., 1922](#)) utvrđivana visina njihovih težišta.

U vezi položaja pešaka u odnosu na vozilo u trenutku kontakta izdvojena su četiri karakteristična položaja, kodirana brojevima 1-4, a koji se odnose na situacije kada je pešak

ka vozilu okrenut desnom bočnom stranom, levom bočnom stranom, prednjom i zadnjom stranom tela. Pored toga, čeonu naletu na pešake su klasifikovani na potpune, delimično ulazne, delimično izlazne i nalete u pravcu, a njihovo kodiranje je takođe izvršeno brojevima 1-4.

Prilikom definisanja kinematike i tipova naleta vozila na pešaka, prema Kuhnel-u ([Gábor, 2004](#)), važan element predstavlja i odnos između visine pešaka i visine prednjeg dela vozila. Iz tog razloga ovaj parametar je izdvojen kao posebna promenljiva.

Kao posebna promenljiva predstavljen je i ugao koji zaklapaju vektori brzina kretanja vozila i pešaka. U zavisnosti od toga da li su se vozilo i pešak u trenutku kontakta kretali u istom smeru, jedno drugom u susret ili pod nekim drugim uglom, izvršeno je kodiranje vrednostima 0-6. U slučajevima kada je kontakt ostvaren bočnom stranom vozila, vrednost ovog parametra je kodirana brojem 7.

Pored navedenih, kao dve resposne promenljive veličine određeni su i daljina odbačaja tela pešaka i brzina kretanja vozila u trenutku kontakta. Naletna brzina vozila je bila nepoznata veličina u gotovo svim slučajevima koji su bili predmet analize ekspertskeg tima, tako da je ovu vrednost tek trebalo utvrditi na osnovu drugih raspoloživih elemenata. Iz tog razloga, ovaj parametar je bio dostupan samo u okviru baze podataka programskog paketa PC CRASH kao i iz EES kataloga.

8. FORMIRANJE MODELA ZA UTVRĐIVANJE DALJINE ODBAČAJA PEŠAKA NEZAVISNOG OD NALETNE BRZINE VOZILA

U cilju definisanja matematičkog modela za određivanje daljine odbačaja pešaka, nezavisnog od naletne brzine vozila, korišćene su dve baze podataka. Prvu bazu čine podaci dobijeni na osnovu rezultata ekspertiza realnih saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka, izvršenih od strane ekspertskeg tima Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Ova baza sadrži podatke iz saobraćajnih nezgoda u kojima je postojala mogućnost pouzdanog utvrđivanja mesta naleta vozila na pešaka i zaustavnih pozicija učesnika nezgode, dok su oštećenja na vozilima fiksirana fotografijama iz uviđajne dokumentacije. Drugu bazu podataka čine parametri utvrđeni eksperimentalnim istraživanjima naleta vozila na fizičke modele pešaka (crash testovi). Ova baza je korišćena u cilju testiranja modela.

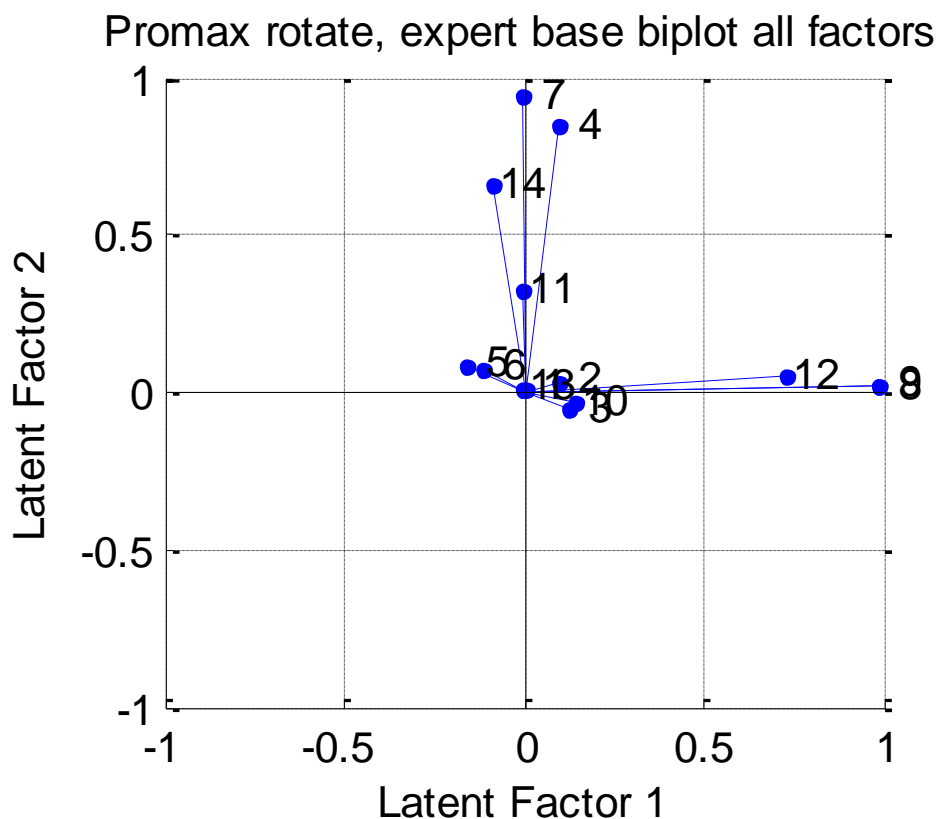
8.1. Izbor prediktorskih promenljivih

Prilikom statističke obrade podataka, najpre je sprovedena eksploratorna faktorska analiza. Faktorska analiza predstavlja jednu od najpopularnijih multivarijacionih tehnika koja ima dva cilja ([Fazlić & Donlagić, 2016](#)):

1. identifikacija i razumevanje osnovne ideje, odnosno zajedničkih karakteristika za više varijabli;
2. smanjivanje broja varijabli u analizi kada ih je previše, pri čemu se neke od njih „preklapaju“ jer imaju slično značenje i ponašanje.

Faktorska analiza je sprovedena u cilju identifikacije dva latentna faktora i izvršena je u softveru Matlab. Najpre je izvršena Promax rotacija faktora kako bi se jednostavnije identifikovali faktori svojom blizinom koordinatnim osama. Na Slika 8.1 je prikazan biplot uticaja pojedinih faktora na latentne faktore koji odgovaraju (ortogonalnim) koordinatnim

osama. Ovako postavljenom analizom, uspostavlja se mogućnost identifikacije faktora čiji je intenzitet uticaja slabiji.



Slika 8.1 Faktorska analiza ekspertske baze sa Promax rotacijom

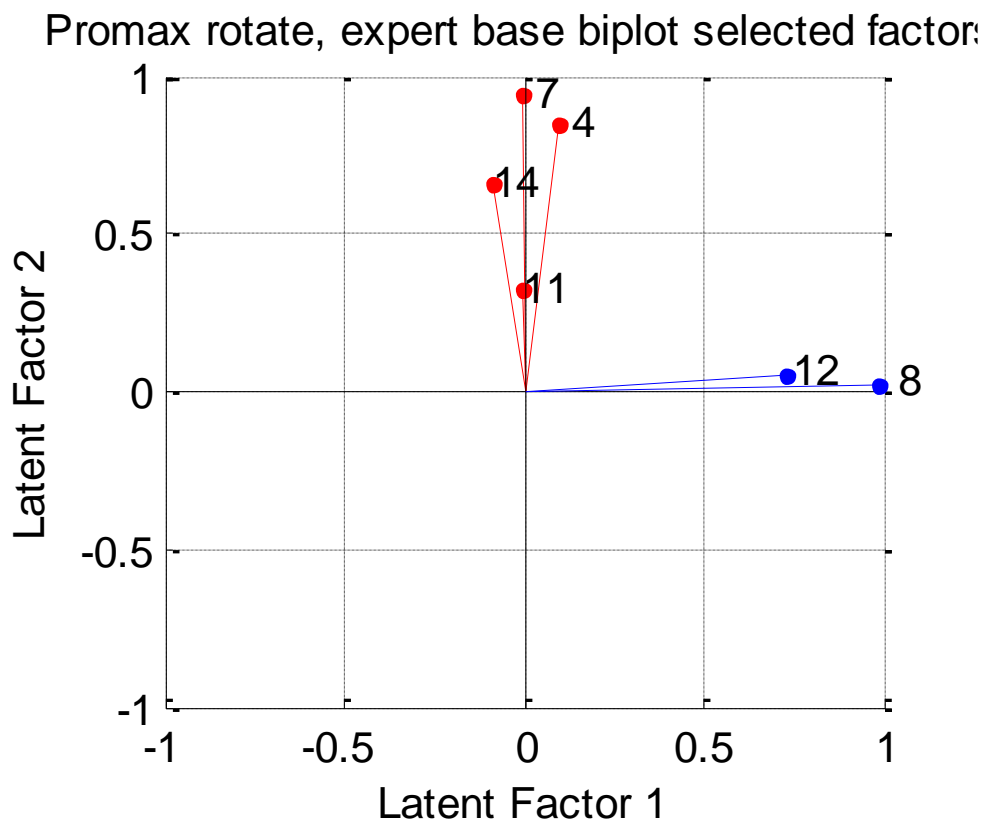
Gde je: 1 – oblik karoserije, 2- visina vozila, 3 – visina prednjeg dela vozila, 4 – pozicija najvišeg oštećenja, 5 – režim kretanja vozila, 6 – postojanje tragova kočenja, 7 – intenzitet oštećenja vozila, 8 – visina pešaka, 9 – težište pešaka, 10 – pozicija pešaka u odnosu na vozilo, 11 – tip naleta vozila na pešaka, 12 – odnos visine pešaka i visine prednjeg dela vozila, 13 – ugao između vektora brzine kretanja vozila i pešaka, 14 – daljina odbačaja pešaka

Na slici 8.1 se uočavaju faktori čija varijacija ima manji uticaj. Navedeni faktori će, u cilju pojednostavljena modela, biti zanemareni, a to su:

- 1 - oblik karoserije;
- 2 - visina vozila;
- 3 - visina prednjeg dela vozila;
- 5 - režim kretanja vozila;
- 6 - postojanje tragova kočenja;
- 9 – težište pešaka;
- 10 - pozicija pešaka u odnosu na vozilo;
- 13 - ugao između vektora brzina vozila i pešaka.

Na osnovu izvršene analize, dolazi se do zaključka da latentnom faktoru 1 odgovaraju visina pešaka i odnos visina pešaka i prednjeg dela vozila. Ovi parametri se mogu opisati kao

fizičke veličine. Latentni faktor 2 odgovara grupi faktora: daljina odbačaja pešaka, intenzitet oštećenja vozila, pozicija najvišeg oštećenja i tip naleta vozila na pešaka. Ovi faktori se mogu opisati kao dinamički elementi naleta vozila na pešaka. Slika 8.2 sadrži izdvojene faktore koji su zadržani radi formiranja matematičkog modela. Latentni faktori 1 i 2 imaju svoje prirodno tumačenje procesa naleta vozila na pešaka, na osnovu čega se zaključuje da je njihovo zadržavanje opravdano.



Slika 8.2 Izdvojeni faktori sa slike 8.1 koji su zadržani za formiranje modela

Gde je: 4 – pozicija najvišeg oštećenja, 7 – intenzitet oštećenja vozila, 8 – visina pešaka, 11 – tip naleta vozila na pešaka, 12 – odnos visine pešaka i visine prednjeg dela vozila, 14 – daljina odbačaja pešaka

Naredni korak predstavlja utvrđivanje Pirsonovog koeficijenta korelacije – r , kao merila jačine linearne veze između atributa. Prema Ratneru ([Ratner, 2003](#)) i Petzu ([Petz, 1997](#)), linearna veza između promenljivih se ostvaruje ukoliko je apsolutna vrednost koeficijenta korelacije veća od 0,3.

Faktorskom analizom je utvrđeno da je tip naleta jedan od ključnih atributa, tako da su prilikom definisanja modela za predikciju daljine odbačaja tela pešaka posebno analizirane nezgode u kojima je došlo do potpunog čeonog naleta vozila na pešaka (115), a posebno nezgode u kojima je kontakt imao karakter delimično čeonog, ulaznog ili izlaznog naleta (56).

Korelaciona matrica je formirana u okviru softvera R, programskog paketa za statističku obradu podataka, posebno za potpuni čeon nalet, a posebno za ostale tipove naleta (tabela 8.1 i 8.2).

Kako je u ovom slučaju responsna promenljiva daljina odbačaja pešaka, posmatrani su koeficijenti korelacije ovog elementa sa ostalim elementima u analizi. Može se zaključiti da postoji značajna povezanost parametra daljine odbačaja pešaka, intenziteta oštećenja vozila i pozicije najvišeg oštećenja na vozilu. Koeficijenti korelacije između daljine odbačaja i intenziteta oštećenja vozila iznose 0,680, odnosno 0,612, posmatrano u obe baze. Koeficijenti korelacije između daljine odbačaja pešaka i pozicije najvišeg oštećenja na vozilu iznose 0,552 i 0,578, posmatrano u obe baze, s tim da se kod delimično čeonih naleta, visina prednjeg dela vozila pojavljuje sa slabom negativnom korelacijom sa daljinom odbačaja tela pešaka ($r = -0,300$).

Tabela 8.1 Koeficijenti korelacije između značajnih parametara kod potpunog čeonog naleta vozila na pešaka

	h_{Pd}	h_O	I_O	h_P	O_h	S_{odb}
h_{Pd}	/	0,006	0,001	0,133	-0,620	0,046
h_O	/	/	0,769	0,395	0,299	0,552
I_O	/	/	/	0,341	0,253	0,680
h_P	/	/	/	/	0,690	0,097
O_h	/	/	/	/	/	0,038
S_{odb}	/	/	/	/	/	/

Tabela 8.2 Koeficijenti korelacije između značajnih parametara kod delimično ulaznog ili izlaznog naleta vozila na pešaka

	h_{Pd}	h_O	I_O	h_P	O_h	S_{odb}
h_{Pd}	/	0,003	-0,051	0,040	-0,553	-0,300
h_O	/	/	0,753	0,261	0,211	0,578
I_O	/	/	/	0,092	0,100	0,612
h_P	/	/	/	/	0,809	-0,032
O_h	/	/	/	/	/	0,151
S_{odb}	/	/	/	/	/	/

Gde su: h_{Pd} – visina prednjeg dela vozila, h_O – najviše oštećenje na vozilu, I_O – intenzitet oštećenja vozila, h_P – visina pešaka, O_h – odnos visine pešaka i visine vozila, S_{odb} – daljina odbačaja pešaka

Analizom koeficijenata korelacije parametara intenziteta oštećenja i pozicije najvišeg oštećenja, u odnosu na parametre daljine odbačaja, zaključuje se da su svi koeficijenti korelacije pozitivni, što znači da se povećanjem vrednosti bilo kog elementa, povećavaju i vrednosti ostalih elemenata.

8.2. Elementi regresione analize

U okviru istraživanja, kao responsna promenljiva određena je daljina odbačaja pešaka. Kao prediktorske veličine pojavljuju se elementi koji su pokazali visoku korelaciju sa pomenutom responsnom promenljivom, a to su intenzitet oštećenja vozila i pozicija najvišeg oštećenja na vozilu, kao i visina prednjeg dela vozila kod delimično čeonog ulaznog ili izlaznog naleta. Uključivanje varijabli u regresionu analizu, vršeno je korak po korak i modifikovanjem pojedinih prediktorskih elemenata u zavisnosti od njihovog uticaja na responsnu veličinu.

8.3. Model za predikciju daljine odbačaja pešaka kod potpunog čeonog naleta vozila na pešaka

Nakon utvrđenih koeficijenata korelacije pristupilo se modelovanju, odnosno regresionoj analizi. Za potrebe uspostavljanja modela za predikciju daljine odbačaja pešaka, korišćena je baza podataka "Ekspert", pri čemu su analizirani parametri koji su imali značajan koeficijent korelacije sa ovim elementom, a to su intenzitet oštećenja na vozilu (I_o) i pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o), odnosno kombinacija ova dva parametra.

U narednom delu prikazani su statistički parametri za svaku varijantu neophodni za ocenu modela: koeficijent korelacije, koeficijent determinacije, p-vrednost, t-test i značajnost prediktorskih promenljivih u modelu. Značajnost će biti opisana na način, prikazan u sledećoj tabeli.

Tabela 8.3 Oznake nivoa značajnosti prediktorskih promenljivih

Nivo značajnosti	p-vrednost	Oznaka
veoma snažna značajnost	0-0,001	***
snažna značajnost	0,001-0,01	**
značajno	0,01-0,05	*
sumnjiva značajnost	0,05-0,1	.
nema značajnosti	0,1-1	

8.3.1. Varijanta 1

U prvoj varijanti, u modelu se nalaze oba elementa, intenzitet oštećenja na vozilu (I_o) i pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o). Vrednost t-testa za intenzitet oštećenja na vozilu ukazuje na značajnu statističku vezu, dok p-vrednost ovog parametra iznosi $6,3e-16$, što navodi na zaključak da postoji veoma snažna značajnost. Međutim, vrednost t-testa i p-vrednost za prediktivni element pozicija najvišeg oštećenja, ukazuje da ne postoji statistička veza ovog elementa i dobijenog modela (apsolutna vrednost t-testa je manja od 2). Rezultati regresione analize u okviru varijante 1 prikazani su u tabeli 8.4.

Tabela 8.4 Rezultati regresione analize varijante 1

Model:	$S_{odb} = -2,54 + 1,88 \cdot I_o + 0,341 \cdot h_o$				
R ² :	0,465	R ² -adj:	0,455	p-vrednost:	6,3e-16
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
I_o	0,325	5,79	6,63e-8	***	
V_o	0,527	0,648	0,518		

8.3.2. Varijanta 2

U drugoj varijanti, jedini prediktivni parametar u modelu je element pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o). Vrednost t-testa ukazuje na značajnu stastičku vezu, dok p-vrednost ovog parametra iznosi $1,61e-10$, što navodi na zaključak da postoji veoma snažna značajnost pozicije najvišeg oštećenja, odnosno da se regresioni koeficijent ovog elementa ne sme izjednačiti sa nulom. Međutim, koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije (R^2 -adj) imaju male vrednosti. Rezultati regresione analize u okviru varijante 2 prikazani su u tabeli 8.5.

Tabela 8.5 Rezultati regresione analize varijante 2

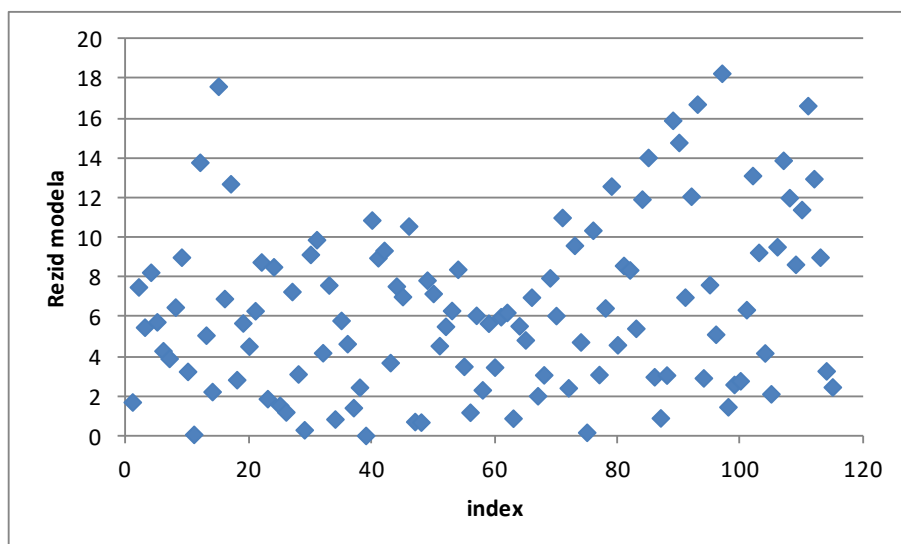
Model:	$S_{odb} = -8,37 + 2,68 \cdot h_o$				
R^2 :	0,305	R^2 -adj:	0,299	p-vrednost:	$1,61e-10$
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
h_o	0,382	7,04	$1,61e-10$	***	

8.3.3. Varijanta 3

U trećoj varijanti, jedini prediktivni parametar u modelu je element intenzitet oštećenja na vozilu (I_o). Vrednost t-testa ukazuje na značajnu stastičku vezu, dok p-vrednost ovog parametra iznosi manje od $2e-16$, što upućuje na zaključak da postoji veoma snažna značajnost intenziteta oštećenja na vozilu, odnosno da se regresioni koeficijent ovog elementa ne sme izjednačiti sa nulom. Vrednost koeficijenta determinacije (R^2) i korigovanog koeficijenta determinacije (R^2 -adj) značajno se povećala u odnosu na varijantu 2. Rezultati regresione analize u okviru varijante 3 prikazani su u tabeli 8.6. Za razliku od prethodnih varijanti, uočena je određena zakonitost reziduala. Analizom apsolutnih vrednosti reziduala primenom ovog modela, može se zaključiti da isti imaju određenu zavisnost u vidu kvadratne funkcije (slika 8.3).

Tabela 8.6 Rezultati regresione analize varijante 3

Model:	$S_{odb} = -0,522 + 2,04 \cdot I_o$				
R^2 :	0,463	R^2 -adj:	0,458	p-vrednost:	$<2,2e-16$
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
I_o	0,207	9,86	$<2e-16$	***	



Slika 8.3 Reziduali, dobijeni primenom modela iz varijante 3

8.3.4. Varijanta 4

U sledećoj varijanti, prediktivni parametar u modelu je kvadrirana vrednost intenziteta oštećenja na vozilu (I_o^2), iz razloga što su reziduali u prethodnoj varijanti pokazali zavisnost u vidu kvadratne funkcije. I kod ove varijante, dobijena vrednost t-testa ukazuje na značajnu stastičku vezu, dok p-vrednost ovog parametra iznosi manje od $2e-16$, što navodi na zaključak da postoji veoma snažna značajnost ovako definisanog prediktivnog elementa, te da se regresioni koeficijent koji stoji uz njega ni u kom slučaju ne sme izjednačiti sa nulom. Vrednost koeficijenta determinacije (R^2) i korigovanog koeficijenta determinacije (R^2 -adj) su se dodatno povećali u odnosu na prethodne dve varijante i sada su zadovoljavajući i iznose preko 0,5. Rezultati regresione analize u okviru varijante 4 su prikazani u tabeli 8.7.

Tabela 8.7 Rezultati regresione analize varijante 4

Model:	$S_{odb} = 6,42 + 0,118 \cdot I_o^2$			
R^2 :	0,518	R^2 -adj:	0,513	p-vrednost: $<2,2e-16$
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost
I_o^2	0,0107	11,0	$<2e-16$	***

8.3.5. Varijanta 5

Rezultati regresione analize varijante 4 ukazuju na mogućnost da kombinacija parametara intenziteta oštećenja vozila (I_o) i pozicije najvišeg oštećenja na vozilu (h_o) predstavlja potencijalno bolje prediktivne elemente u modelu za predikciju daljine odbačaja pešaka. Iz tog razloga u varijanti 5, prediktivni parametar u modelu je proizvod vrednosti I_o i h_o . Kao i kod prethodnih varijanti, dobijena vrednost t-testa ukazuje na značajnu stastičku vezu, dok p-vrednost ovog parametra iznosi manje od $2e-16$, što navodi na zaključak da postoji veoma snažna značajnost ovako definisanog prediktivnog elementa, te da se regresioni koeficijent koji stoji uz njega ni u kom slučaju ne sme izjednačiti sa nulom. Vrednost

koeficijenta determinacije (R^2) i korigovanog koeficijenta determinacije (R^2 -adj) je veći u odnosu na varijante 1, 2 i 3. Rezultati regresione analize u okviru varijante 5 prikazani su u tabeli 8.8.

Tabela 8.8 Rezultati regresione analize varijante 5

Model:	$S_{odb} = 4,13 + 0,139 \cdot I_o \cdot h_o$				
R^2 :	0,488	R^2 -adj:	0,484	p-vrednost:	<2,2e-16
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
$I_o \cdot h_o$	0,0134	10,4	<2e-16	***	

8.3.6. Varijanta 6

U ovoj varijanti, prediktivni parametri u modelu bila su oba elementa – pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o), intenzitet oštećenja na vozilu (I_o) i proizvod ova dva parametra ($h_o \cdot I_o$). Prediktivni element $h_o \cdot I_o$ je pokazao zadovoljavajuću vrednost t-testa, a na osnovu p-vrednosti, pokazao je snažnu značajnost za prikazani model. Međutim, druga dva prediktivna elementa su pokazala da ne postoji njihov značaj za model, te da se koeficijent regresije, koji bi stajao pored njihove promenljive može izjednačiti sa nulom. Takođe, ni t-test ne pokazuje zadovoljavajuće vrednosti za statističko vrednovanje (apsolutna vrednost je manja od 2). Rezultati regresione analize u okviru varijante 6 prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 8.9 Rezultati regresione analize varijante 6

Model:	$S_{odb} = 14,8 - 0,409 \cdot I_o - 1,45 \cdot I_o + 0,217 \cdot h_o \cdot I_o$				
R^2 :	0,505	R^2 -adj:	0,491	p-vrednost:	<2,2e-16
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
I_o	0,825	-0,496	0,621		
h_o	0,784	-1,85	6,73e-2	.	
$h_o \cdot I_o$	7,25e-2	3,00	3,34e-3	**	

8.3.7. Varijanta 7

U sledećoj varijanti, prediktivni parametar u modelu je kvadrirana vrednost proizvoda vrednosti pozicije najvišeg oštećenja (h_o) i intenziteta oštećenja na vozilu (I_o). Dobijena vrednost t-testa ukazuje na značajnu statističku vezu, dok je p-vrednost ovog parametra manja od 2e-16, što navodi na zaključak da postoji veoma snažna značajnost ovako definisanog prediktivnog elementa. Vrednosti koeficijenta determinacije (R^2) i korigovanog koeficijenta determinacije (R^2 -adj) iznose preko 0,51. Rezultati regresione analize u okviru varijante 7 prikazani su u tabeli 8.10

Tabela 8.10 Rezultati regresione analize varijante 7

Model:	$S_{odb} = 10,07 + 0,000625 \cdot (h_o \cdot I_o)^2$				
R ² :	0,516	R ² -adj:	0,511	p-vrednost:	<2,2e-16
Prediktorske promenljive		Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost
$(h_o \cdot I_o)^2$		5,69e-5	11,0	<2e-16	***

8.3.8. Varijanta 8

U ovoj varijanti, prediktivni parametri u modelu bila su oba elementa – pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o), intenzitet oštećenja na vozilu (I_o) i kvadrirana vrednost proizvoda ova dva parametra ($(h_o \cdot I_o)^2$). Prediktivni element $(h_o \cdot I_o)^2$ pokazao je zadovoljavajuću vrednost t-testa, a na osnovu p-vrednosti, pokazao je veoma snažnu značajnost za prikazani model. Međutim, druga dva prediktivna elementa pokazala su da ne postoji njihov značaj za model, te da se koeficijent regresije, koji bi stajao pored njihove promenljive može izjednačiti sa nulom. Takođe, ni t-test ne pokazuje zadovoljavajuće vrednosti za statističko vrednovanje (apsolutna vrednost je manja od 2). Rezultati regresione analize u okviru varijante 8 prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 8.11 Rezultati regresione analize varijante 8

Model:	$S_{odb} = 13,8 + 0,672 \cdot I_o - 0,938 \cdot h_o + 0,000593 \cdot (h_o \cdot I_o)^2$				
R ² :	0,535	R ² -adj:	0,523	p-vrednost:	<2,2e-16
Prediktorske promenljive		Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost
I_o		0,424	1,58	0,116	
h_o		0,583	-1,61	0,111	
$(h_o \cdot I_o)^2$		1,45e-4	4,10	7,87e-5	***

8.3.9. Varijanta 9

U ovoj varijanti, model se sastoji od četiri prediktivna elementa – pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o), intenzitet oštećenja na vozilu (I_o), proizvod ova dva parametra ($h_o \cdot I_o$) i kvadrirana vrednost proizvoda ova dva parametra ($(h_o \cdot I_o)^2$). U ovoj varijanti, element h_o ne prikazuje dobre rezultate za t-test i p-vrednost. Ostali elementi pokazuju dobre rezultate t-testa i zadovoljavajuću vrednost za statističko vrednovanje. Vrednosti koeficijenta determinacije (R^2) i korigovanog koeficijenta determinacije (R^2 -adj) znatno su se popravile u odnosu na prethodne varijante. Rezultati regresione analize u okviru varijante 9 prikazani su u tabeli 8.12.

Tabela 8.12 Rezultati regresione analize varijante 9

Model:	$S_{odb} = 0,349 + 4,04 \cdot I_o + 1,13 \cdot h_o - 0,513 \cdot h_o \cdot I_o + 0,00159 \cdot (h_o \cdot I_o)^2$				
R ² :	0,559	R ² -adj:	0,543	p-vrednost:	<2,2e-16
Prediktorske promenljive		Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost
I_o		1,44	2,80	6,0e-3	**
h_o		1,02	1,11	0,271	
$h_o \cdot I_o$		0,210	-2,44	0,0163	*
$(h_o \cdot I_o)^2$		4,32e-4	3,67	3,69e-4	***

8.3.10. Varijanta 10

Varijanta 9 je do sada pokazala najbolje rezultate u pogledu koeficijenta korelacije i korigovanog koeficijenta korelacije, ali element h_o nije pokazao dobre statističke rezultate. Iz tog razloga, u ovoj varijanti, model se sastoji od preostala tri prediktivna elementa iz prethodne varijante – intenzitet oštećenja na vozilu (I_o), proizvod ova dva parametra ($h_o \cdot I_o$) i kvadrirana vrednost proizvoda ova dva parametra ($(h_o \cdot I_o)^2$). t-test za sve prediktivne elemente pokazuje dobre rezultate i zadovoljavajuću vrednost za statističko vrednovanje. Za elemente I_o i $h_o \cdot I_o$, dobijena p-vrednost prikazuje snažnu značajnost ovih elementa za sam model, dok p-vrednost poslednjeg prediktivnog elementa $(h_o \cdot I_o)^2$, u iznosu od 1,12e-4, pokazuje veoma snažnu značajnost. Vrednosti koeficijenta determinacije (R^2) i korigovanog koeficijenta determinacije (R^2 -adj) iznose oko 0,55, odnosno 0,54 respektivno, što se ne razlikuje mnogo od prethodne varijante. Rezultati regresione analize u okviru varijante 10 prikazani su u tabeli 8.13.

Tabela 8.13 Rezultati regresione analize varijante 10

Model:	$S_{odb} = 8,19 + 2,80 \cdot I_o - 0,320 \cdot h_o \cdot I_o + 0,00126 \cdot (h_o \cdot I_o)^2$				
R ² :	0,554	R ² -adj:	0,542	p-vrednost:	<2,2e-16
Prediktorske promenljive		Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost
I_o		0,904	3,09	2,50e-3	**
$h_o \cdot I_o$		0,117	-2,72	7,51e-3	**
$(h_o \cdot I_o)^2$		3,15e-4	4,00	1,12e-4	***

8.3.11. Izbor modela

Prilikom izbora optimalnog modela za predikciju daljine odbačaja pešaka kod potpunih čeonih naleta, analizirane su najznačajnije statističke veličine za sve modele. Svi analizirani modeli prikazani su u narednoj tabeli, sa naznačenim značajnostima prediktivnih elemenata, vrednostima korigovanog koeficijenta determinacije i p-vrednostima.

Tabela 8.14 Rezultati regresione analize

Daljina odbačaja pešaka (S_{odb})						
Model	Značajnost promenljivih				R ² -adj	p-vrednost
Varijanta 1			*** I_o	h_o	0,455	6,3e-16
Varijanta 2				*** h_o	0,299	1,61e-10
Varijanta 3				*** h_o	0,458	<2,2e-16
Varijanta 4				*** h_o^2	0,513	<2,2e-16
Varijanta 5				*** $I_o \cdot h_o$	0,484	<2,2e-16
Varijanta 6		I_o	h_o	*** $h_o \cdot I_o$	0,491	<2,2e-16
Varijanta 7				*** $(h_o \cdot I_o)^2$	0,511	<2,2e-16
Varijanta 8		I_o	h_o	*** $(h_o \cdot I_o)^2$	0,523	<2,2e-16
Varijanta 9	** I_o	h_o	* $h_o \cdot I_o$	*** $(h_o \cdot I_o)^2$	0,543	<2,2e-16
Varijanta 10		** I_o	** $h_o \cdot I_o$	*** $(h_o \cdot I_o)^2$	0,542	<2,2e-16

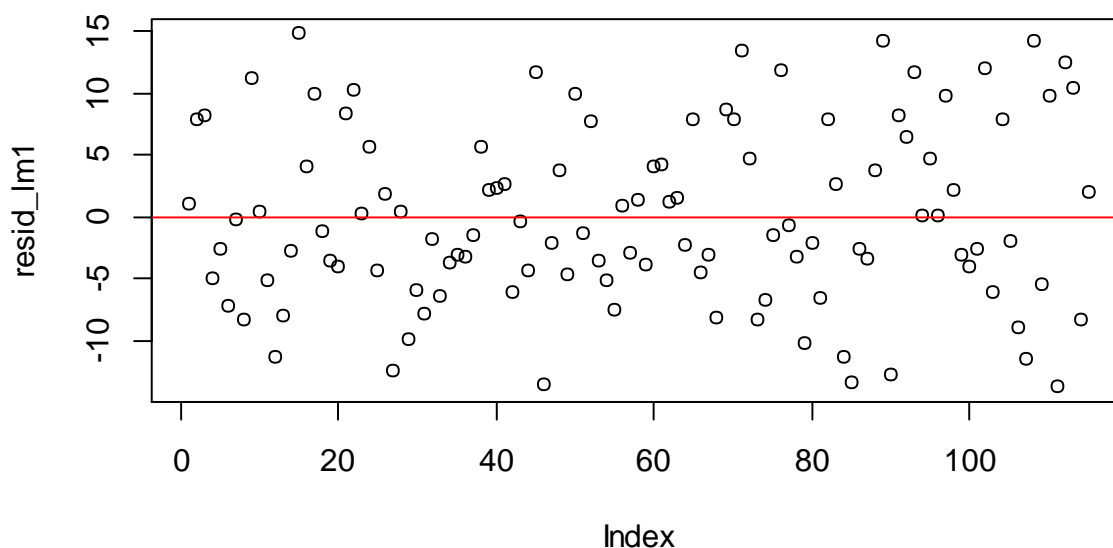
Model za predikciju daljine odbačaja pešaka kod potpunih čeonih naleta, sa najboljim statističkim vrednostima je opisan u okviru varijante 10. Koeficijent determinacije (R^2) iznosi 0,554, dok je vrednost korigovanog koeficijenta determinacije (R^2 -adj) 0,542. Svi prediktivni elementi prikazuju značajnost u modelu, odnosno regresioni koeficijenti ni kod jednog elementa ne mogu se izjednačiti sa nulom. Vrednosti t-testa pokazuju zadovoljavajuće rezultate za svaki prediktivni element (tabela 8.13).

Model za određivanje daljine odbačaja tela pešaka kod potpunih čeonih naleta, u funkciji intenziteta oštećenja na vozilu (I_o) i pozicije najvišeg oštećenja na vozilu (h_o) je dat sledećim izrazom::

$$S_{odb} = 8,19 + 2,80 \cdot I_o - 0,320 \cdot h_o \cdot I_o + 0,00126 \cdot (h_o \cdot I_o)^2 \quad 8.1$$

Nakon izbora modela za predikciju daljine odbačaja pešaka kod potpunih čeonih naleta, izvršen je proračun ovog parametra na osnovu podataka dobijenih radom ekspertskeg tima Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Nakon toga je izvršeno poređenje ovako utvrđenih daljina odbačaja tela pešaka (S_{odb}^{exp}) sa vrednostima dobijenim primenom definisanog modela (S_{odb}^{mod}). U cilju poređenja ovih veličina, utvrđene su srednja apsolutna i procentualna greška. Kako se radi o velikoj bazi, utvrđene vrednosti za sve analizirane slučajeve date su u prilogu.

Primenom izabranog modela na podacima dobijenim radom ekspertskeg tima, dobijeni su reziduali, koji su prikazani na slici 8.4. Na plot dijagramu reziduala ne uočavaju se nikakve zakonitosti, odnosno reziduali su raspostranjeni kao beli šum. Ujedno se vidi da su oni ravnomerno raspoređeni sa obe strane u odnosu na "0", na osnovu čega se zaključuje da je izabrani model adekvatan za predikciju daljine odbačaja pešaka.



Slika 8.4 Plot dijagram reziduala modela za predikciju daljine odbačaja pešaka kod potpunog čeonog naleta

8.4. Model za predikciju daljine odbačaja pešaka kod delimično čeonog naleta vozila na pešaka

U cilju uspostavljanja modela za predikciju daljine odbačaja pešaka kod ulaznih ili izlaznih delimično čeonih naleta, izvršena je regresiona analiza. Osnovu ove analize čini ekspertska baza podataka ("Ekspert") iz koje su izdvojeni delimično čeonni naleti vozila na pešake, kojih je bilo 56. Pri tome su analizirani parametri koji su imali značajan koeficijent korelacije sa daljinom odbačaja pešaka (S_{odb}), a to su intenzitet oštećenja na vozilu (I_o), pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o) i visina prednjeg dela vozila (h_{pd}), odnosno kombinacija ova tri parametra.

Za svaku varijantu modela prikazani su sledeći statistički parametri: koeficijent korelacije, koeficijent determinacije, p-vrednost, t-test i značajnost prediktorskih promenljivih u modelu.

8.4.1. Varijanta 1

U prvoj varijanti, u modelu se nalaze sva tri elementa: intenzitet oštećenja na vozilu (I_o), pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o) i visina prednjeg dela vozila (h_{pd}). Vrednost t-testa za parametre: intenzitet oštećenja na vozilu i visina prednjeg dela vozila, ukazuje na značajnu statističku vezu, dok je p-vrednost za ove parametre iznosila $1,73e-2$ i $6,98e-3$ respektivno, što znači da se koeficijent regresije, koji bi stajao pored njihove promenljive ne može izjednačiti sa nulom. Vrednost t-testa i p-vrednost za prediktivni element pozicija najvišeg oštećenja, ukazuje da ne postoji statistička veza ovog elementa i dobijenog modela (apsolutna vrednost t-testa je manja od 2). Rezultati regresione analize u okviru varijante 1 prikazani su u tabeli 8.15.

Tabela 8.15 Rezultati regresione analize varijante 1

Model:	$S_{odb} = 41,2 + 0,806 \cdot I_o + 0,747 \cdot h_o - 53,2 \cdot h_{pd}$				
R ² :	0,485	R ² -adj:	0,455	p-vrednost:	1,35e-7
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
I_o	0,327	2,46	1,73e-2	*	
h_o	0,381	1,96	5,55e-2	.	
h_{pd}	18,9	-2,81	6,98e-3	**	

8.4.2. Varijanta 2

Kako u varijanti 1 nisu dobijeni adekvatni statistički pokazatelji, pristupilo se formiranju modela sa dva elementa. U naredne 3 varijante analizirani su modeli sa po dva elementa. U varijanti 2 analiziran je model sa prediktorskim elementima: intenzitet oštećenja na vozilu (I_o) i pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o). Rezultati t-testa i p-vrednosti pokazali su slične vrednosti kao i u varijanti 1. Element pozicija najvišeg oštećenja na vozilu je i u ovom modelu pokazao statistički loše rezultate – vrednost t-testa manja od 2, dok je p-vrednost iznosila $9,94e-2$, što je dovoljno da se pokaže sumnjiva značajnost tog elementa u modelu. Rezultati regresione analize u okviru varijante 2 prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 8.16 Rezultati regresione analize varijante 2

Model:	$S_{odb} = 0,461 + 0,881 \cdot I_o + 0,679 \cdot h_o$				
R ² :	0,406	R ² -adj:	0,384	p-vrednost:	9,92e-7
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
I_o	0,347	2,54	1,41e-2	*	
h_o	0,405	1,68	9,94e-2	.	

8.4.3. Varijanta 3

U okviru varijante 3, analiziran je model sa sledeća dva prediktorska elementa: intenzitet oštećenja na vozilu (I_O), i visina prednjeg dela vozila (h_{pd}). Vrednost t-testa i p-vrednosti pokazali su statističku značajnost oba elementa u modelu, ali koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije ($R^2\text{-adj}$) imaju male vrednosti. Rezultati regresione analize u okviru varijante 3 su prikazani u tabeli 8.17.

Tabela 8.17 Rezultati regresione analize varijante 3

Model:	$S_{odb} = 42,7 + 1,29 \cdot I_O - 50,8 \cdot h_{pd}$				
R^2 :	0,447	$R^2\text{-adj}$:	0,426	p-vrednost:	1,55e-7
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
I_O	0,221	5,85	3,12e-7	***	
h_{pd}	19,4	-2,62	1,14e-2	*	

8.4.4. Varijanta 4

U okviru varijante 4, analiziran je model sa sledeća dva prediktorska elementa: pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_O) i visina prednjeg dela vozila (h_{pd}). I kod ovog modela, vrednosti t-testa i p-vrednosti pokazale su statističku značajnost oba elementa u modelu, ali koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije ($R^2\text{-adj}$) i dalje imaju male vrednosti. Rezultati regresione analize u okviru varijante 4 prikazani su u tabeli 8.18.

Tabela 8.18 Rezultati regresione analize varijante 4

Model:	$S_{odb} = 43,5 + 1,46 \cdot h_O - 57 \cdot h_{pd}$				
R^2 :	0,425	$R^2\text{-adj}$:	0,403	p-vrednost:	4,33e-7
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
h_O	0,262	5,56	9,00e-7	***	
h_{pd}	19,8	-2,89	5,63e-3	**	

8.4.5. Varijanta 5

U cilju uspostavljanja adekvatnog modela, kao i kod definisanja modela za predikciju daljine odbačaja pešaka kod potpunog čeonog naleta, i u ovom delu se pristupilo kombinovanju elemenata koji su pokazali visok koeficijent korelacije sa daljinom odbačaja. U varijanti 5, kao prediktorska promenljiva uzet je odnos pozicije najvišeg oštećenja na vozilu (h_O) i visine prednjeg dela vozila (h_{pd}). Tako formiran element pokazao je veoma snažnu značajnost (p-vrednost iznosi 3,04e-7), dok rezultat t-testa iznosi 5,84. I pored toga, koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije ($R^2\text{-adj}$) imaju još manje vrednosti nego modeli definisani u prethodnim varijantama. Rezultati regresione analize u okviru varijante 5 prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 8.19 Rezultati regresione analize varijante 5

Model:	$S_{odb} = -0,868 + 0,116 \cdot \left(\frac{10 \cdot h_o}{h_{pd}} \right)$				
R ² :	0,387	R ² -adj:	0,376	p-vrednost:	3,04e-7
Prediktorske promenljive		Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost
$\left(\frac{10 \cdot h_o}{h_{pd}} \right)$		1,99e-2	5,84	3,04e-7	***

8.4.6. Varijanta 6

U varijanti 6 kao prediktorska promenljiva uzet je proizvod dva parametra: intenziteta oštećenja vozila (I_o) i pozicije najvišeg oštećenja na vozilu (h_o). Tako formiran element pokazao je veoma snažnu značajnost (p–vrednost iznosi 1,23e-8), što znači da se regresioni koeficijent uz ovaj parametar ne sme nikako izjednačiti sa nulom. I vrednost t-testa pokazao je dobar rezultat (apsolutna vrednost rezultata t-testa je veća od 2). Koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije (R^2 -adj) su malo poboljšani, ali i dalje nedovoljno da bi se model mogao prihvatiti. Rezultati regresione analize u okviru varijante 6 su prikazani u narednoj tabeli.

Tabela 8.20 Rezultati regresione analize varijante 6

Model:	$S_{odb} = 4,54 + 0,108 \cdot I_o \cdot h_o$				
R ² :	0,454	R ² -adj:	0,444	p-vrednost:	1,23e-8
Prediktorske promenljive		Stand. greška	t-test	p-vrednost	Značajnost
$I_o \cdot h_o$		1,61e-2	6,71	1,23e-8	***

8.4.7. Varijanta 7

U varijanti 7 kao prediktorska promenljiva uzet je kvadrat proizvoda dva elementa: intenziteta oštećenja vozila i pozicije najvišeg oštećenja na vozilu ($I_o \cdot h_o$)². Tako formiran element pokazao je veoma snažnu značajnost (p–vrednost iznosi 9,18e-10), što znači da se regresioni koeficijent uz ovaj parametar ne sme izjednačiti sa nulom, pri čemu vrednost t-testa ukazuje na dobar rezultat. Koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije (R^2 -adj) iznose oko 0,50. Rezultati regresione analize u okviru varijante 7 su prikazani u tabeli 8.21.

Tabela 8.21 Rezultati regresione analize varijante 7

Model:	$S_{odb} = 6,89 + 0,000633 \cdot (I_o \cdot h_o)^2$				
R ² :	0,504	R ² -adj:	0,494	p-vrednost:	9,18e-10
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
$(I_o \cdot h_o)^2$	8,55e-5	7,40	9,18e-10	***	

8.4.8. Varijanta 8

U okviru varijante 8, korišćeni su elementi, koji su u prethodnim varijantama pokazali snažnu značajnost i dobre rezultate t-testa. Tako su u okviru ove varijante uzeti prediktorski elementi iz prethodne dve varijante i pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o). Sva tri prediktorska elementa pokazala su značajnost za sam model - od osnovne značajnosti do veoma snažne. Rezultati t-testa su za sva tri elementa zadovoljavajući (apsolutna vrednost je veća od 2). Koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije (R^2 -adj) iznose 0,59 odnosno 0,57 respektivno. Rezultati regresione analize u okviru varijante 8 prikazani su u tabeli 8.22.

Tabela 8.22 Rezultati regresione analize varijante 8

Model:	$S_{odb} = 4,1 - 3,67 \cdot h_o + 3,17 \cdot \frac{h_o}{h_{pd}} + 0,000475 \cdot (I_o \cdot h_o)^2$				
R ² :	0,590	R ² -adj:	0,566	p-vrednost:	3,84e-10
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
h_o	1,42	-2,59	1,25e-2	*	
$\left(\frac{10 \cdot h_o}{h_{pd}}\right)$	0,107	2,97	4,48e-3	**	
$(I_o \cdot h_o)^2$	1,09e-4	4,35	6,36e-5	***	

8.4.9. Varijanta 9

Kako su se u okviru varijante 8 dobili statistički prihvatljivi rezultati, u varijanti 9 je pokušano poboljšanje modela dodavanjem još jednog elementa, a to je visina prednjeg dela vozila (h_{pd}). U ovom slučaju, rezultati t-testa za tri od četiri elementa u modelu su neprihvatljivi. Ujedno, za iste elemente p-vrednost pokazuje da ne postoji značajnost sa modelom. Koeficijenti determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije (R^2 -adj) su se popravili, ali ne u velikoj meri. Rezultati regresione analize u okviru varijante 9 prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 8.23 Rezultati regresione analize varijante 9

Model:	$S_{odb} = -2,12 - 6,31 \cdot h_o + 33,5 \cdot h_{pd} + 5,15 \cdot \frac{h_o}{h_{pd}} + 0,000481 \cdot (I_o \cdot h_o)^2$				
R ² :	0,593	R ² -adj:	0,562	p-vrednost:	1,73e-9
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
h_o	4,34	-1,45	0,152		
h_{pd}	52,0	0,644	0,522		
$\left(\frac{10 \cdot h_o}{h_{pd}}\right)$	0,325	1,58	0,119		
$(I_o \cdot h_o)^2$	1,10e-4	4,36	6,21e-5	***	

8.4.10. Varijanta 10

Kako je u varijanti 9 dodat element visina prednjeg dela vozila u odnosu na varijantu 8, u okviru varijante 10 je testiran model sa dodavanjem elementa intenzitet oštećenja vozila (I_o). U ovom slučaju, vrednost t-testa za dodatni element ne ukazuje na dobar rezultat. Ujedno, za isti element p-vrednost ukazuje da ne postoji značajnost sa modelom. Koeficijenti determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije (R^2 -adj) su nešto veći nego u modelu 8, ali ne značajno. Rezultati regresione analize u okviru varijante 10 prikazani su u tabeli 8.24.

Tabela 8.24 Rezultati regresione analize varijante 10

Model:	$S_{odb} = 4,81 - 3,32 \cdot h_o - 0,482 \cdot I_o + 3,01 \cdot \frac{h_o}{h_{pd}} + 0,000620 \cdot (I_o \cdot h_o)^2$				
R ² :	0,598	R ² -adj:	0,566	p-vrednost:	1,32e-9
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
h_o	1,46	-2,27	2,77e-2	*	
I_o	0,488	-0,988	0,328		
$\left(\frac{10 \cdot h_o}{h_{pv}}\right)$	0,108	2,79	7,33e-3	**	
$(I_o \cdot h_o)^2$	1,83e-4	3,39	1,36e-3	**	

8.4.11. Izbor modela

Prilikom izbora optimalnog modela za predikciju daljine odbačaja pešaka prilikom delimičnog čeonog naleta, analizirane su najznačajnije statističke veličine za sve modele. Svi analizirani modeli su prikazani u narednoj tabeli, sa značajnostima prediktivnih elemenata, vrednostima korigovanog koeficijenta determinacije i p-vrednostima.

Tabela 8.25 Rezultati regresione analize

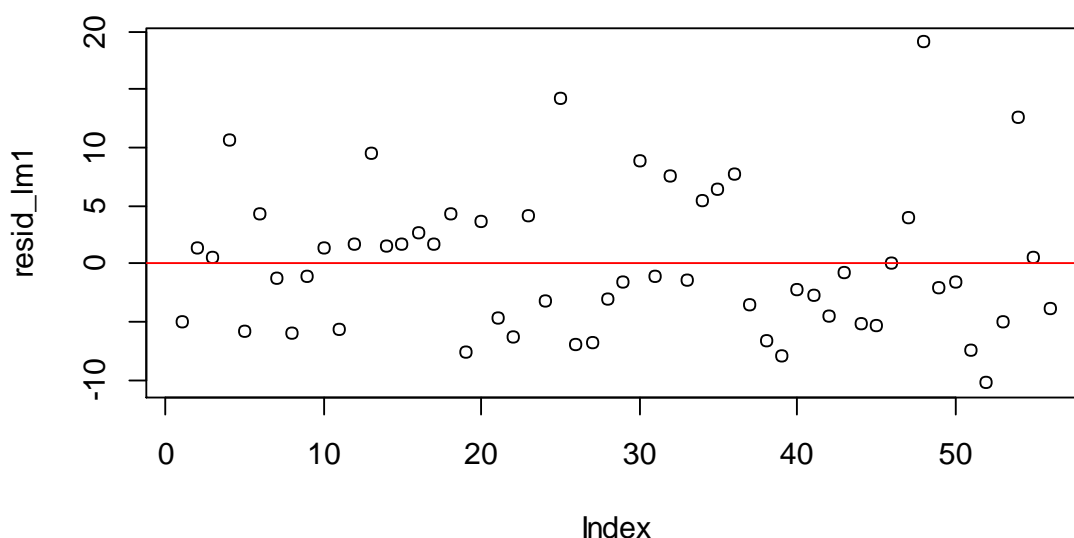
Daljina odbačaja pešaka (S_{odb})						
Model	Značajnost promenljivih				R ² -adj	p-vrednost
Varijanta 1		* I_o	. h_o	** h_{pd}	0,455	1,35e-7
Varijanta 2			* I_o	. h_o	0,384	9,92e-7
Varijanta 3			*** I_o	* h_{pd}	0,426	1,55e-7
Varijanta 4			*** h_o	** h_{pd}	0,403	4,33e-7
Varijanta 5				*** $\left(\frac{10 \cdot h_o}{h_{pd}}\right)$	0,376	3,04e-7
Varijanta 6				*** $I_o \cdot h_o$	0,444	1,23e-8
Varijanta 7				*** $\left(\frac{I_o \cdot h_o}{h_o}\right)^2$	0,494	9,18e-10
Varijanta 8		* h_o	** $\left(\frac{10 \cdot h_o}{h_{pd}}\right)$	*** $\left(\frac{I_o \cdot h_o}{h_o}\right)^2$	0,566	3,84e-10
Varijanta 9	h_o	h_{pd}	$\left(\frac{10 \cdot h_o}{h_{pd}}\right)$	*** $\left(\frac{I_o \cdot h_o}{h_o}\right)^2$	0,562	1,73e-9
Varijanta 10	* h_o	I_o	** $\left(\frac{10 \cdot h_o}{h_{pd}}\right)$	** $(I_o \cdot h_o)^2$	0,566	1,32e-9

Model za predikciju daljine odbačaja pešaka kod delimičnog čeonog naleta, sa najboljim statističkim vrednostima, je opisan u okviru varijante 8. Koeficijent determinacije (R^2) iznosi 0,590, dok je vrednost korigovanog koeficijenta determinacije (R^2 -adj) 0,566. Svi prediktivni elementi prikazuju značajnost u modelu, odnosno regresioni koeficijenti ni kod jednog elementa se ne mogu izjednačiti sa nulom. Vrednosti t-testa pokazuju zadovoljavajuće rezultate za svaki prediktivni element (tabela 8.22).

Odabrani model za određivanje daljine odbačaja tela pešaka kod delimično čeonih naleta vozila na pešaka ima sledeći oblik:

$$S_{odb} = 4,10 + 4,75 \cdot 10^{-4} \cdot (h_o \cdot I_o)^2 + 3,17 \cdot \frac{h_o}{h_{pd}} - 3,67 \cdot h_o \quad 8.2$$

Nakon izbora modela za predikciju daljine odbačaja pešaka kod delimično čeonih naleta, izvršeno je poređenje ove veličine utvrđene u realnim saobraćajnim nezgodama od strane ekspertskeg tima Fakulteta tehničkih nauka (S_{odb}^{exp}) i proračunatih vrednosti na osnovu definisanog modela (S_{odb}^{mod}). U tu svrhu utvrđene su srednja apsolutna i relativna greška. S obzirom da se radi o velikoj bazi podataka, pregledni prikaz utvrđenih vrednosti je dat u prilogu. Na plot dijagramu reziduala (Slika 8.6) ne uočavaju se nikakve zakonitosti, odnosno raspostranjeni su kao beli šum. Ujedno se vidi da su reziduali ravnomerno raspoređeni sa obe strane u odnosu na "0", na osnovu čega se zaključuje da je izabrani model adekvatan za predikciju daljine odbačaja pešaka kod delimično čeonih naleta.



Slika 8.5 Plot dijagram reziduala modela za predikciju daljine odbačaja pešaka kod delimično čeonih naleta

8.5. Testiranje modela za predikciju daljine odbačaja tela pešaka

Uspostavljeni model za utvrđivanje daljine odbačaja tela pešaka na osnovu intenziteta oštećenja na vozilu, visine prednjeg dela vozila i visine najvišeg oštećenja, pri delimično čeonom naletu, nije moguće testirati uporednom analizom sa rezultatima eksperimentalnih israživanja, jer se kod njih telo pešaka uvek u potpunosti nalazilo u okviru gabarita vozila. Iz tog razloga, predloženi model za predikciju daljine odbačaja tela pešaka pri delimičnom naletu se mora uzeti sa rezervom, do sprovođenja testova ovakvog tipa, kako bi se isti mogao verifikovati.

Model za utvrđivanje daljine odbačaja tela pešaka kod potpunih čeonih naleta je zasnovan na bazi podataka ekspertskeg tima ("Ekspert"). Testiranje modela za predikciju daljine odbačaja tela pešaka kod potpunih čeonih naleta je izvršeno na osnovu uporedne analize sa podacima utvrđenim u okviru eksperimentalnih istraživanja na fizičkim modelima pešaka, uvrštenih u bazu podataka "PC Crash". Podatke iz ovih baza je moguće porediti sprovođenjem t-testa. Pre toga, iz baze "Ekspert" je potrebno izuzeti slučajeve u kojima je intenzitet oštećenja na vozilu ocenjen vrednošću manjom od 6, a najviše oštećenje na vozilu vrednošću manjom od 7. Ovo iz razloga što su eksperimentalni testovi vršeni pri takvim uslovima pri kojima gore rangirane vrednosti intenziteta oštećenja i visine najvišeg oštećenja, ispod navedenih vrednosti nisu ni nastale, te su u tom delu baze podataka neuporedive. Rezultati t-testa su prikazani u tabeli 8.26.

Tabela 8.26 Rezultati t-testa

Red. br.	Parametar	Srednja vrednost baza "Expert"	Srednja vrednost baza "PC Crash"	p vrednosti
1	intenzitet oštećenja vozila (I_o)	11,71	11,86	0,761
2	najviše oštećenje na vozilu (h_o)	11,51	11,63	0,788
3	daljina odbačaja pešaka (S_{odb})	22,86	25,44	0,473

Na osnovu sprovedenog t-testa, može se zaključiti da podaci u pomenute dve baze nemaju statistički značajnu razliku. Iz tog razloga, model za utvrđivanje daljine odbačaja pešaka kod potpunih čeonih naleta je testiran na "PC Crash" bazi, koja pruža najpreciznije podatke relevantne za analizu. Rezultati verifikacije su prikazani u narednoj tabeli.

Tabela 8.27 Testiranje modela za predikciju daljine odbačaja pešaka

h_o	I_o	$S_{odb}^{PC\ Crash}$ (m)	S_{odb}^{mod} (m)	ΔS_{odb} (m)	
				(m)	(%)
12	11	11,7	18,71	7,01	59,87
9	10	31,2	17,58	-12,42	-41,40
10	8	16,2	13,04	-3,46	-20,96
10	8	14,6	13,04	-2,26	-14,76
10	8	16,0	13,04	-3,46	-20,96
11	11	15,6	18,71	1,91	11,38
13	13	28,8	26,51	-2,29	-7,94
11	8	15,1	12,18	-2,92	-19,35
14	15	46,0	38,60	-7,10	-15,54
14	14	47,0	33,11	-13,59	-29,10
14	15	60,0	38,60	-21,40	-35,67
7	6	14,5	13,76	-1,24	-8,29
13	9	19,0	13,20	-5,30	-28,66
9	8	12,5	14,07	1,07	8,21
9	10	12,5	17,58	4,98	39,53
11	12	21,1	21,50	0,40	1,90
11	12	30,5	21,50	-8,50	-28,33
13	8	11,7	10,94	-0,76	-6,53
13	9	14,1	13,20	-1,30	-8,98

Analizom rezultata testiranja modela, zaključuje se da je prosečna greška prilikom predikcije daljine odbačaja oko 5,3 m, odnosno oko 21% u odnosu na stvarno izmerenu vrednost daljine odbačaja. U 14 od 19 slučajeva modelovana vrednost bila je manja od stvarno realizovane.

Do razlika između stvarno ostvarenih i modelovanih vrednosti, između ostalog, dolazi i zbog toga što je ispitivanjima utvrđeno da postoje značajne razlike u čvrstoći materijala od kojih su izrađeni modeli u odnosu na čvrstoću ljudskog tela ispitivanu na kadaverima (PMHS- Post Mortem Human Subjects), kao i zbog razlika u kinematici naleta uslovljenoj pojedinim ograničenjima pokreta fizičkih modela u odnosu na pokrete ljudskog tela ([Akiyama et al., 1999](#)). Pored toga, test modeli koji predstavljaju 95 percentilne modele pešaka, čija je masa 76,8 kg, a visina 1,8 m ([T. F. J. Fugger et al., 2002](#)), često nisu bili u skladu sa masama i visinama pešaka koji su učestvovali u realnim saobraćajnim nezgodama i bili su predmet analize. I konačno, eksperimentalna istraživanja su pokazala da čak i vrsta odeće koju pešak ima na sebi i stanje kolovozne površine imaju uticaja na koeficijent trenja između tela pešaka i podloge u fazi klizanja. Pri tome se mora napomenuti da se određen broj realnih saobraćajnih nezgoda koji je analiziran istraživanjem, dogodio u uslovima vlažnog kolovoza.

U okviru poglavlja 4 su prikazani modeli za predikciju brzine kretanja vozila, dok je u ovoj analizi definisan model za utvrđivanje daljine odbačaja pešaka (jednačina 8.1). U tom smislu, modeli su neuporedivi, jer u njima figurišu različiti parametri. Međutim, kako su modeli za predikciju naletne brzine vozila u osnovi zasnovani na daljini odbačaja pešaka, izvršena je integracija razvijenog modela za predikciju daljine odbačaja i empirijskih modela za predikciju naletne brzine vozila.

U cilju verifikacije odabranog modela, primenjeni su modeli za predikciju naletne brzine vozila, koji su u okviru poglavlja 4.3 bili uključeni u uporednu analizu. Modeli, koje su definisali Barzeley i Lacy ([Barzeley & Lacy, 1978](#)), Stcherbatcheff ([Bhalla et al., 2002](#); [Stcherbatcheff et al., 1975](#)), Limpert ([Limpert, 1999b](#)), Appel ([Appel et al., 1976](#)), Burg i Moser ([Burg & Moser, 2007](#)), kao i fizički model koji je prvi predstavljen u okviru poglavlja 4.2, zasnovani su na poznavanju daljine odbačaja tela pešaka. Prilikom primene ovih modela nisu implementirane vrednosti koje su definisane prilikom vršenja testova, već vrednosti daljine odbačaja dobijene izabranim modelom 8.1. Uporedna analiza modelovanih vrednosti brzine kretanja vozila i brzina definisanih u "PC Crash" bazi prikazani su u narednoj tabeli.

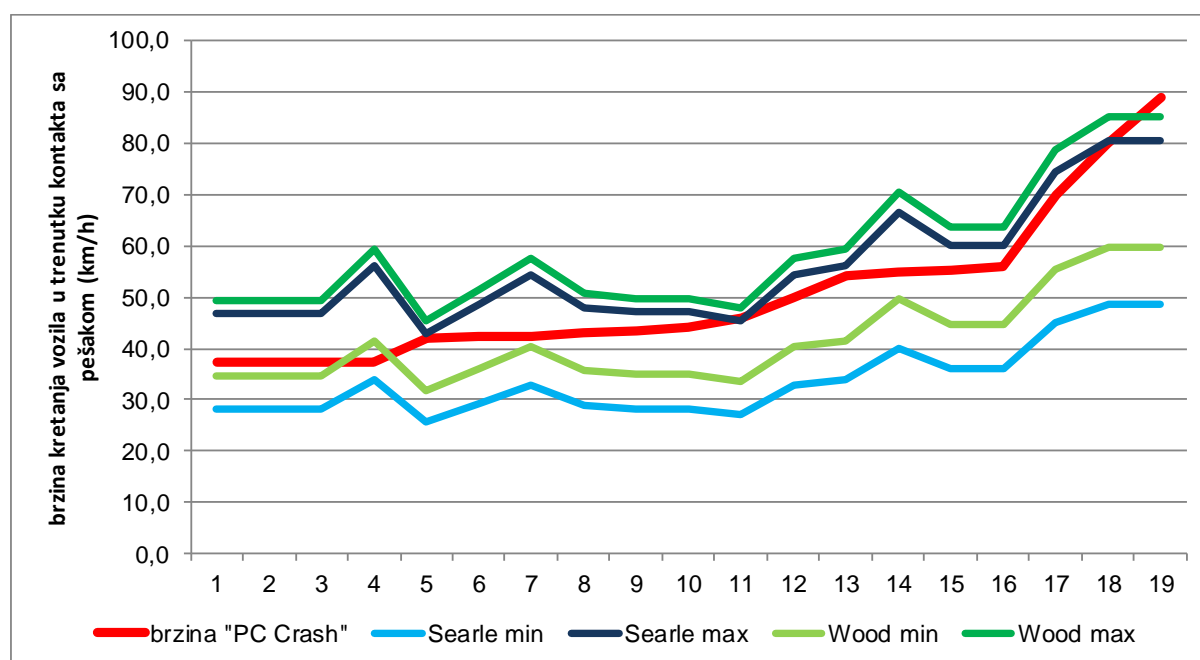
Tabela 8.28 Rezultati integrisanja modela daljine odbačaja 8.1 i modela za predikciju brzine kretanja vozila, koje su razvili Barzeley i Lacy, Stcherbatcheff, Limpert, Appel, Burg i Moser i primenom fizičkog modela

Red. broj	$V_S^{PC\ Crash}$ (km/h)	$V_S^{Barzeley}$		$V_S^{Stcher.}$		$V_S^{Limpert}$		V_S^{Appel}		V_S^{Moser}		$V_S^{fizički\ m.}$	
		Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)
1	54,0	50,7	-6,0	52,8	-2,1	55,5	2,7	53,7	-0,5	52,9	-2,0	51,9	-3,9
2	50,0	48,9	-2,2	51,1	2,2	53,4	6,8	52,1	4,2	51,1	2,3	50,3	0,7
3	37,4	40,8	9,1	43,4	16,0	44,3	18,5	44,9	20,0	43,1	15,3	43,4	15,9
4	37,4	40,8	9,1	43,4	16,0	44,3	18,5	44,9	20,0	43,1	15,3	43,4	15,9
5	37,4	40,8	9,1	43,4	16,0	44,3	18,5	44,9	20,0	43,1	15,3	43,4	15,9
6	37,4	50,7	35,7	52,9	41,4	55,5	48,4	53,7	43,7	52,9	41,5	51,9	38,8
7	55,0	62,3	13,3	63,8	16,0	68,4	24,5	63,9	16,3	64,3	16,8	61,8	12,3
8	46,0	39,1	-15,0	41,8	-9,2	42,4	-7,8	43,4	-5,7	41,4	-9,9	41,9	-8,9
9	80,0	77,3	-3,4	78,0	-2,6	85,3	6,6	77,1	-3,6	79,0	-1,4	74,5	-6,9
10	70,0	70,8	1,2	71,9	2,6	78,0	11,5	71,4	2,0	72,6	3,7	69,0	-1,4
11	89,0	77,3	-13,2	78,0	-12,4	85,3	-4,1	77,1	-13,3	79,0	-11,3	74,5	-16,3
12	43,0	42,1	-1,9	44,7	4,0	45,8	6,6	46,1	7,2	44,4	3,4	44,5	3,6
13	44,1	41,1	-6,9	43,7	-1,0	44,6	1,2	45,1	2,3	43,4	-1,6	43,6	-1,1
14	42,5	42,7	0,6	45,2	6,5	46,5	9,4	46,6	9,7	45,0	6,0	45,0	6,0
15	42,5	48,9	15,1	51,1	20,3	53,4	25,7	52,1	22,6	51,1	20,3	50,3	18,4
16	55,9	55,1	-1,4	57,0	2,0	60,4	8,0	57,6	3,0	57,2	2,4	55,6	-0,5
17	55,1	55,1	0,0	57,0	3,5	60,4	9,6	57,6	4,5	57,2	3,8	55,6	1,0
18	42,1	36,6	-13,2	39,3	-6,5	39,6	-6,0	41,1	-2,4	38,9	-7,5	39,7	-5,7
19	43,5	41,1	-5,6	43,7	0,4	44,6	2,6	45,1	3,7	43,4	-0,2	43,6	0,2

Gde je: $V_S^{PC\ Crash}$ - realna brzina kretanja vozila u trenutku kontakta iz "PC Crash" baze, $V_S^{Barzeley}$ - brzina kretanja vozila u trenutku kontakta prema modelu Barzeley i Lacy, $V_S^{Stcher.}$ - brzina kretanja vozila u trenutku kontakta prema modelu Stcherbatcheff, $V_S^{Limpert}$ - brzina kretanja vozila u trenutku kontakta prema modelu Limpert, V_S^{Appel} - brzina kretanja vozila u trenutku kontakta prema modelu Appel, V_S^{Moser} - brzina kretanja vozila u trenutku kontakta prema modelu Moser i Burg, $V_S^{fizički\ m.}$ - brzina kretanja vozila u trenutku kontakta prema fizičkom modelu

Integracijom modela 8.1 za predikciju daljine odbačaja i modela koje su definisali Barzeley i Lacy, Stcherbatcheff i Burg i Moser za određivanje brzine kretanja vozila, dobija se rezultati sa prosečnom greškom manjom od 10%. Primenom Limpert-ovog modela, prosečna greška iznosi 12,5%, dok Appel-ov model određuje brzinu kretanja vozila sa prosečnom greškom od oko 10%. Implementacijom daljine odbačaja tela pešaka iz jednačine 8.1 u fizički model za predikciju brzine kretanja vozila dobija se prosečna greška od oko 9%.

U poglavlju 4.3 izvršena je i uporedna analiza modela za predikciju minimalne i maksimalne vrednosti naletne brzine vozila, definisane od strane Wood-a ([T. Fugger et al., 2002](#)) i Searle-a ([Portal & Dias, 2008; Searle & Searle, 1983](#)). Pomenuti modeli se baziraju na poznavanju parametra daljine odbačaja tela pešaka. Rezultati integracije modela za predikciju daljine odbačaja tela pešaka (jednačina 8.1) i modela Wood-a i Searle-a prikazani su na sledećem grafiku.



Slika 8.6 Rezultati integrisanja modela daljine odbačaja 8.1 i modela za predikciju brzine kretanja vozila, koje su razvili Searle i Wood

Minimalne i maksimalne vrednosti naletne brzine vozila, dobijene implementacijom vrednosti daljine odbačaja tela pešaka primenom modela 8.1 u empirijske modele, definisane od strane Searle-a i Wood-a, prikazane su na slici 8.6 plavom i zelenom bojom (svetlijom i tamnijom nijansom). Sa slike se jasno zaključuje da se naletna brzina vozila, ostvarena prilikom vršenja testova (na slici označena kao brzina "PC Crash") nalazi unutar granica definisanih krivama minimalnih i maksimalnih vrednosti pomenutih modela.

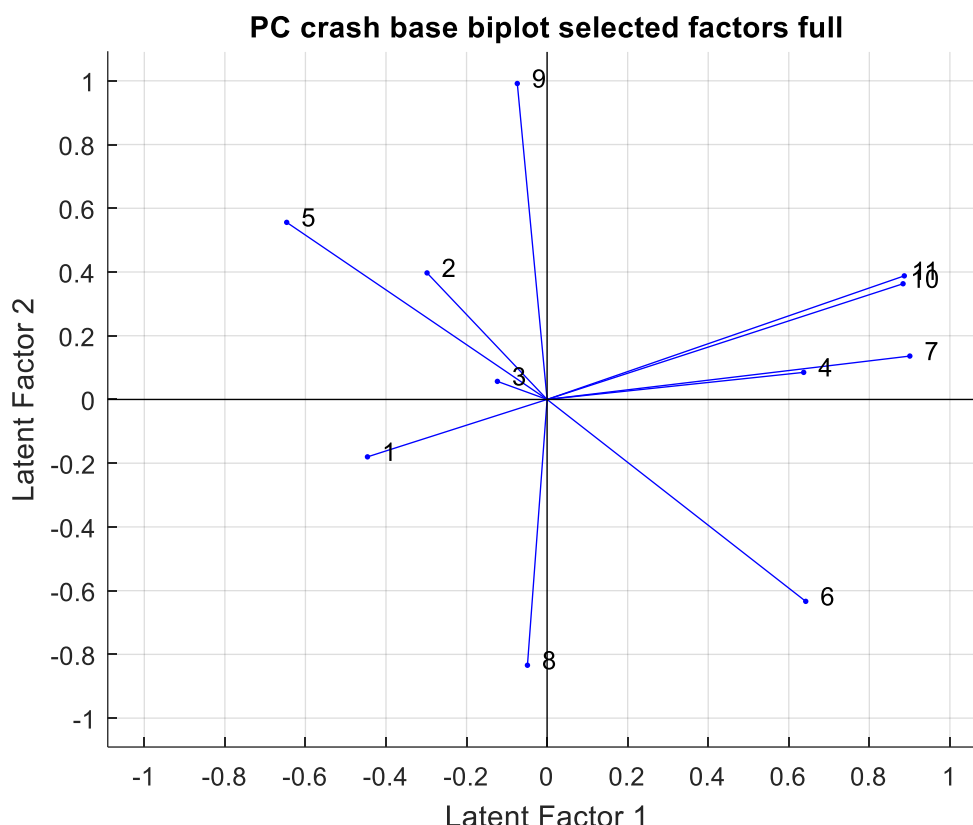
Na osnovu sprovedenog istraživanja, pokazano je da se parametar daljina odbačaja može utvrditi na osnovu oštećenja vozila, nastala prilikom naleta na pešaka. Implementacijom rezultata ovog modela u postojeće empirijske modele za predikciju brzine kretanja vozila, dobijaju se zadovoljavajući rezultati.

9. FORMIRANJE MODELA ZA UTVRĐIVANJE BRZINE KRETANJA VOZILA PRILIKOM NALETA NA PEŠAKA

Nakon definisanja modela za predikciju daljine odbačaja pešaka, pristupilo se formiranju modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku kontakta. Za potrebe ovog dela istraživanja, korišćene su dve baze podataka. Prva baza je formirana na osnovu testova na fizičkim modelima pešaka ("PC Crash"), i korišćena je u cilju kreiranja modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta. Druga baza je zasnovana na podacima iz EES kataloga ("EES baza") i namenjena je testiranju modela.

9.1. Izbor prediktorskih promenljivih

Kao i u prvom prethodnom delu rada, najpre je izvršena faktorska analiza primenom softvera Matlab. Nakon unosa baze podataka, ispisanog koda i zadate željene radnje, dobijeni su rezultati faktorske analize (slika 9.1).



Slika 9.1 Faktorska analiza "PC Crash" baze

Gde je: 1 – oblik karoserije, 2- visina vozila, 3 – visina prednjeg dela vozila, 4 – pozicija najvišeg oštećenja, 5 – režim kretanja vozila, 6 – postojanje tragova kočenja, 7 – intenzitet oštećenja vozila, 8 – pozicija pešaka u odnosu na vozilo, 9 – ugao između vektora brzina vozila i pešaka, 10 – daljina odbačaja pešaka, 11 – brzina vozila u trenutku naleta

Na osnovu sprovedene faktorske analize zaključuje se da jednu grupu latentnih faktora čine brzina kretanja vozila (V_s), daljina odbačaja pešaka (S_{odb}), intenzitet oštećenja vozila (I_o) i pozicija najvišeg oštećenja (h_o).

Naredni korak predstavlja utvrđivanje Pirsonovog koeficijenta korelacije – r , kao merila jačine linearne veze između atributa. Prema Ratneru ([Ratner, 2003](#)) i Petzu ([Petz, 1997](#)), linearna veza između promenljivih se ostvaruje ukoliko je apsolutna vrednost koeficijenta korelacije veća od 0,3. Korelaciona matrica je formirana u softveru R, programskog paketa za statističku obradu podataka (tabela 9.1).

Tabela 9.1 Koeficijenti korelacije između parametara, prilikom punog naleta vozila na pešaka

	h_o	I_o	S_{odb}	V_s
h_o	/	0.576	0.462	0.479
I_o	/	/	0.882	0.740
S_{odb}	/	/	/	0.937
V_s	/	/	/	/

Kako je ovom slučaju responsna promenljiva brzina kretanja vozila u trenutku kontakta sa pešakom, posmatrani su koeficijenti korelacije ovog elementa sa ostalim elementima u

analizi. Može se zaključiti da postoji značajna povezanost parametra responsne promenljive i sva tri druga elementa koji su se pokazali kao jedna grupa latentnih faktora. Najbolji koeficijent korelacije se vidi između responsne promenljive i daljine odbačaja tela pešaka, gde r iznosi 0,937.

Analizom koeficijenata korelacije svih prediktivnih elemenata u odnosu na responsnu promenljivu, zaključuje se da su svi koeficijenti korelacije pozitivni, što znači da se povećanjem vrednosti bilo kog elementa, povećava i vrednosti responsnog elementa - brzine kretanja vozila u trenutku kontakta.

9.2. Elementi regresione analize

U okviru daljeg istraživanja, kao responsna promenljiva određena je brzina kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka. Kao prediktorske veličine pojavljuju se elementi koji su pokazali veliku korelaciju sa pomenutom responsnom promenljivom, a to su: daljina odbačaja tela pešaka, intenzitet oštećenja vozila i pozicija najvišeg oštećenja na vozilu.

9.3. Model za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka

Nakon utvrđenih koeficijenata korelacije pristupilo se modelovanju, odnosno regresionoj analizi. Prilikom utvrđivanja modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka, korišćena je baza podataka zasnovana na testovima na fizičkim modelima pešaka ("PC Crash"), a analizirani su parametri koji su imali značajan koeficijent korelacije sa ovim elementom, a to su: daljina odbačaja (S_{odb}), intenzitet oštećenja na vozilu (I_o) i pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o), odnosno kombinacija ovih parametara.

Za svaku varijantu modela za predikciju naletne brzine vozila, tabelarno su prikazani osnovni statistički parametri, a značajnost prediktorskih promenljivih u modelu je definisana u skladu sa tabelom 8.3.

9.3.1. Varijanta 1

U prvoj varijanti, u modelu se nalaze sva tri elementa, odnosno daljina odbačaja pešaka (S_{odb}), intenzitet oštećenja na vozilu (I_o) i pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o). Analizom je utvrđeno da t-test i p-vrednost za parametre I_o i h_o ukazuju da ne postoji statistička veza ovih elementa i dobijenog modela. Vrednost t-testa ukazuje na značajnu statističku vezu parametra S_{odb} , a p-vrednost ovog parametra iznosi 0,0011, što navodi na zaključak da postoji snažna značajnost daljine odbačaja pešaka. Rezultati regresione analize u okviru varijante 1 prikazani su u tabeli 9.2.

Tabela 9.2 Rezultati regresione analize varijante 1

Model:	$V_s = 12,9 + 0,682 \cdot S_{odb} + 0,521 \cdot h_o + 1,57 \cdot I_o$				
R ² :	0,882	R ² -adj:	0,859	p-vrednost:	3,32e-7
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
S_{odb}	0,169	4,02	0,0011	**	
h_o	0,879	0,592	0,562		
I_o	1,01	1,56	0,139		

9.3.2. Varijanta 2

Kako se za model u varijanti 1 ne dobijaju adekvatni statistički pokazatelji, pristupilo se formiranju modela sa dva elementa. U naredne 3 varijante analizirani su modeli sa po dva elementa. U varijanti 2 analiziran je model sa prediktorskim elementima: daljina odbačaja tela pešaka (S_{odb}) i pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o). Element pozicija najvišeg oštećenja na vozilu je i u ovom modelu pokazao statistički loše rezultate – vrednost t-testa manja od 2, dok je p-vrednost iznosila 0.166, što nije dovoljno da se pokaže ni sumnjiva značajnost tog elementa u modelu. Rezultati regresione analize u okviru varijante 2 prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 9.3 Rezultati regresione analize varijante 2

Model:	$V_s = 17,1 + 0,878 \cdot S_{odb} + 1,17 \cdot h_o$				
R ² :	0,863	R ² -adj:	0,846	p-vrednost:	1,24e-7
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
S_{odb}	0,118	7,44	1,4e-6	***	
h_o	0,807	1,45	0,166		

9.3.3. Varijanta 3

U okviru varijante 3, analiziran je model sa sledeća dva prediktorska elementa: pozicija najvišeg oštećenja na vozilu (h_o) i intenzitet oštećenja na vozilu (I_o). Vrednost t-testa i p-vrednosti pokazale su da parametar pozicija najvišeg oštećenja na vozilu nema statističku značajnost. Koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije (R^2 -adj) imaju

vrednosti 0,75 odnosno 0,72 respektivno. Rezultati regresione analize u okviru varijante 3 prikazani su u tabeli 9.4.

Tabela 9.4 Rezultati regresione analize varijante 3

Model:	$V_s = -1,27 + 0,427 \cdot h_o + 4,59 \cdot I_o$				
R ² :	0,755	R ² -adj:	0,724	p-vrednost:	1,3e-5
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
h_o	1,23	0,348	0,732		
I_o	0,939	4,89	1,65e-4		***

9.3.4. Varijanta 4

U varijanti 4 analiziran je model sa sledeća dva prediktorska elementa: daljina odbačaja tela pešaka (S_{odb}) i intenzitet oštećenja na vozilu (I_o). Vrednosti t-testa za oba elementa pokazuju statističku značajnost, dok p-vrednosti pokazuju da se regresioni koeficijenti pored oba elementa ne smeju izjednačiti sa nulom. Koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije (R^2 -adj) iznose 0,88 odnosno 0,86 respektivno. Rezultati regresione analize u okviru varijante 4 prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 9.5 Rezultati regresione analize varijante 4

Model:	$V_s = 15,9 + 0,679 \cdot S_{odb} + 1,86 \cdot I_o$				
R ² :	0,879	R ² -adj:	0,864	p-vrednost:	4,47e-8
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
S_{odb}	0,166	4,09	8,46e-4		***
I_o	0,868	2,14	4,83e-2		*

9.3.5. Varijanta 5

Kako se većina postojećih modela bazira isključivo na daljini odbačaja tela pešaka (S_{odb}), u ovoj varijanti analiziran je slučaj u kojem je upravo taj parametar jedini prediktivni element. Rezultat t-testa od 9,62 pokazuje veliku statističku značajnost, dok p-vrednost pokazuje da element daljina odbačaja tela pešaka ima veoma snažnu značajnost sa modelom. Koeficijent determinacije (R^2) i korigovani koeficijent determinacije (R^2 -adj) iznose oko 0,84. Rezultati regresione analize u okviru varijante 5 prikazani su u tabeli 9.6.

Tabela 9.6 Rezultati regresione analize varijante 5

Model:	$V_s = 28,1 + 0,974 \cdot S_{odb}$				
R ² :	0,845	R ² -adj:	0,836	p-vrednost:	2,7e-8
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
S_{odb}	0,101	9,62	2,7e-8		***

9.3.6. Varijanta 6

Uzimajući u obzir fizičke zakonitosti prilikom kontakta vozila i pešaka, zaključuje se da postoji zavisnost između brzine kretanja vozila u trenutku kontakta i korena vrednosti daljine odbačaja pešaka (jednačine 4.27, 4.31 i 4.32). Iz tog razloga u ovoj varijanti analiziran je model zasnovan na korenu vrednosti parametra daljine odbačaja pešaka ($\sqrt{S_{odb}}$). Vrednost t-testa ukazuje na značajnu statističku vezu parametra $\sqrt{S_{odb}}$, dok p-vrednost ovog parametra iznosi 1,71e-7, što navodi na zaključak da postoji veoma snažna značajnost daljine odbačaja pešaka. Rezultati regresione analize u okviru varijante 6 prikazani su u tabeli 9.7.

Tabela 9.7 Rezultati regresione analize varijante 6

Model:	$V_s = 3,02 + 10,2 \cdot \sqrt{S_{odb}}$				
R ² :	0,804	R ² -adj:	0,792	p-vrednost:	2,03e-7
Prediktorske promenljive	Stand. greška	t-test	p-vrednost	značajnost	
$\sqrt{S_{odb}}$	1,23	8,35	2,03e-7	***	

9.3.7. Izbor modela

Prilikom izbora optimalnog modela za predikciju brzine kretanja vozila, analizirane su najznačajnije statističke veličine za sve modele. Svi analizirani modeli prikazani su u narednoj tabeli, sa naznačenim značajnostima prediktivnih elemenata, vrednostima korigovanog koeficijenta determinacije i p-vrednostima.

Tabela 9.8 Rezultati regresione analize

Brzina kretanja vozila u trenutku kontakta (V_s)					
Model	Značajnost promenljivih			R ² -adj	p-vrednost
Varijanta 1	** S_{odb}	h_o	I_o	0,859	3,32e-7
Varijanta 2		*** S_{odb}	h_o	0,846	1,24e-7
Varijanta 3		h_o	*** I_o	0,724	1,3e-5
Varijanta 4		*** S_{odb}	* I_o	0,864	4,47e-8
Varijanta 5			*** S_{odb}	0,836	2,7e-8
Varijanta 6			*** $\sqrt{S_{odb}}$	0,792	2,03e-7

Model za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka sa najboljim statističkim vrednostima je opisan u okviru varijante 4. Koeficijent determinacije (R^2) iznosi 0,879, dok je vrednost korigovanog koeficijenta determinacije (R^2 -adj) 0,864. Prediktivni elementi u modelu su daljina odbačaja pešaka (S_{odb}) i intenzitet oštećenja vozila (I_o). Daljina odbačaja pešaka ima veoma snažnu značajnost, dok je intenzitet oštećenja vozila pokazao manju, ali i dalje statistički dovoljnu značajnost, tako da se regresioni koeficijenti uz ova dva elementa ne mogu izjednačiti sa nulom. Vrednost t-testa za oba elementa pokazuje zadovoljavajuću vrednost.

Odabrani model za određivanje brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka je dat izrazom:

$$V_s = 15.9 + 0.679 \cdot S_{odb} + 1.86 \cdot I_O \quad 9.1$$

gde su:

V_s – brzina kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka $[km/h]$,

S_{odb} – daljina odbačaja pešaka $[m]$,

I_O – intenzitet oštećenja vozila $[1 - 15]$.

Nakon izbora modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku kontakta, izvršen je proračun ovog parametra (V_s^{mod}) na osnovu podataka utvrđenih u eksperimentalnim istraživanjima naleta vozila na fizički model pešaka. Izvršeno je poređenje rezultata modela i postignutih naletnih brzina vozila prilikom sprovođenja eksperimentalnih istraživanja ($V_s^{PC\ Crash}$). Kako bi se poredile ove dve vrednosti, utvrđene su srednja apsolutna i relativna greška za svaki od 19 testova.

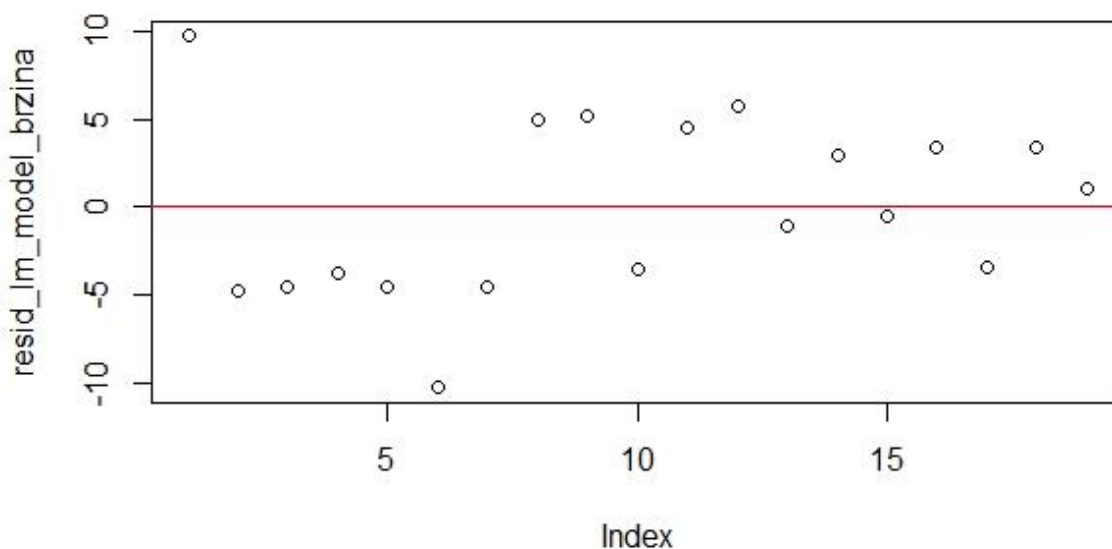
Tabela 9.9 Uporedna analiza brzina kretanja vozila u testovima i njihovih modelovanih vrednosti

red. br.	S_{odb}	I_O	$V_s^{PC\ Crash}$	V_s^{mod}	apsolutna greška	relativna greška	procentualna greška
1	11,7	11	54	44,30	9,70	0,18	17,96
2	30	10	50	54,87	-4,87	-0,10	-9,74
3	16,5	8	37,4	41,98	-4,58	-0,12	-12,26
4	15,3	8	37,4	41,17	-3,77	-0,10	-10,08
5	16,5	8	37,4	41,98	-4,58	-0,12	-12,26
6	16,8	11	37,4	47,77	-10,37	-0,28	-27,72
7	28,8	13	55	59,64	-4,64	-0,08	-8,43
8	15,1	8	46	41,03	4,97	0,11	10,80
9	45,7	15	80	74,83	5,17	0,06	6,46
10	46,7	14	70	73,65	-3,65	-0,05	-5,21
11	60	15	89	84,54	4,46	0,05	5,01
12	15	6	43	37,25	5,76	0,13	13,38
13	18,5	9	44,1	45,20	-1,10	-0,02	-2,50
14	13	8	42,5	39,61	2,89	0,07	6,81
15	12,6	10	42,5	43,06	-0,56	-0,01	-1,31
16	21,1	12	55,9	52,55	3,35	0,06	6,00
17	30	12	55,1	58,59	-3,49	-0,06	-6,33
18	11,7	8	42,1	38,72	3,38	0,08	8,02
19	14,5	9	43,5	42,49	1,01	0,02	2,33

Gde je: I_O – intenzitet oštećenja vozila, S_{odb} – daljina odbačaja pešaka, $V_s^{PC\ Crash}$ – ostvarena brzina vozila prilikom eksperimentalnog istraživanja, V_s^{mod} – brzina vozila, modelovana vrednost

U devet slučajeva, model je prikazao manju vrednost od stvarno realizovane brzine kretanja vozila u testovima, dok je u deset slučajeva dobijena veća vrednost. Srednja apsolutna greška dobijena primenom izabranog modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka iznosi 4,33 km/h, odnosno posmatrano procentualno 9%.

Dijagram reziduala kojim se prikazuje primena izabranog modela na podacima dobijenim na osnovu "crash" testova, dat je na slici 9.2. Na plot dijagramu reziduala ne uočavaju se nikakve zakonitosti, odnosno reziduali su raspostranjeni kao beli šum. Stoga se zaključuje da je izabrani model adekvatan za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka.



Slika 9.2. Plot dijagram reziduala modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka

Primenom modela 8.1 za određivanje daljine odbačaja tela pešaka (S_{odb}), definisanog u prethodnom poglavlju, dobija se konačan model za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka, koji nije zavisen od daljine odbačaja tela pešaka.

$$V_s = 21.5 + 3.76 \cdot I_o - 0.217 \cdot h_o \cdot I_o + 0.000855 \cdot (h_o \cdot I_o)^2 \quad 9.2$$

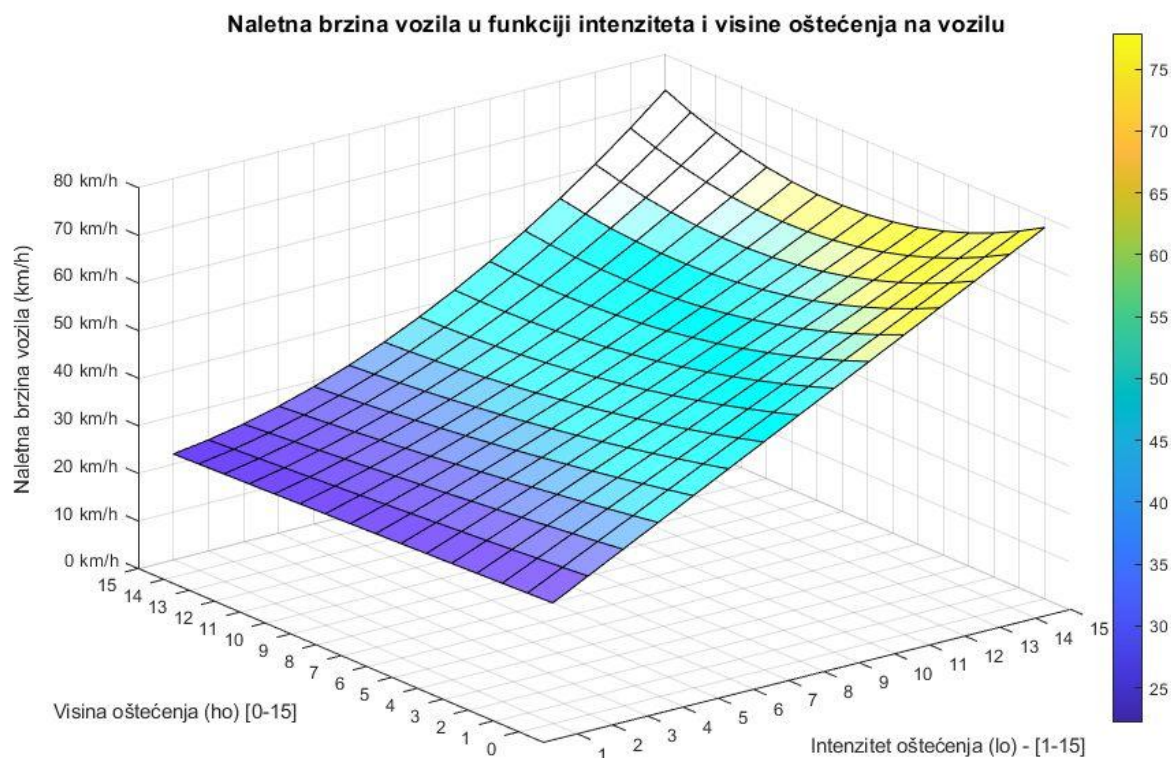
gde su:

V_s – brzina kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka $[km/h]$,

h_o – najviše oštećenje na vozilu $[m]$,

I_o – intenzitet oštećenja vozila (1 ÷ 15)

Na narednoj slici je grafički prikazana zavisnost naletne brzine vozila od prediktorskih elemenata: intenziteta oštećenja (I_o) i visine oštećenja na vozilu (h_o).



Slika 9.3 Grafički prikaz zavisnosti naletne brzine vozila u odnosu na intenzitet oštećenja (I_o) i visinu oštećenja (h_o)

Sa slike 9.3 zaključuje se da model 9.2 ima i određena ograničenja. Model nije primenljiv u situacijama kada je naletna brzina vozila manja od 25 km/h. To se može objasniti činjenicom da prilikom naleta na pešaka manjim brzinama, na vozilu ni ne ostaju vidljivi tragovi ili oštećenja. S druge strane, model je limitiran i sa maksimalnom vrednošću, tako da se ne može primeniti pri naletnim brzinama većim od 80 km/h. Treba napomenuti da su ekperimentalna istraživanja sa fizičkim modelom pešaka, uglavnom sprovedena pri naletnim brzinama u dijapazonu od 30 do 80 km/h. Limitirano područje vrednosti naletnih brzina u okviru baze „PC Crash“, koja je služilo za formiranje modela 9.2, definiše i ograničenja primene konačnog modela, utvđenog tokom istraživanja.

9.4. Testiranje modela

Testiranje uspostavljenog modela je izvršeno poređenjem sa bazom podataka definisanom na osnovu EES kataloga („EES baza“). U tom smislu najpre je izvršen t-test, kako bi se ispitalo da li su podaci uporedivi. Pri tome treba napomenuti da testovi sa fizičkim modelima pešaka nisu vršeni pri manjim brzinama, koje bi za posledicu imale i manja oštećenja na vozilima. S druge strane, „EES baza“ sadrži svega dva slučaja sa vrednostima brzine manjim od 40 km/h. Iz tog razloga, t-testu na ove dve baze prethodilo je njihovo izjednačavanje sa vrednostima prediktivnih parametara. Tako su iz baze, formirane na osnovu testova sa fizičkim modelima pešaka, izuzeti slučajevi pri naletnim brzinama vozila manjim od 40 km/h.

Dobijeni rezultati t-testa prikazani su u tabeli 9.10. Na osnovu izvršenog t-testa, može se zaključiti da su podaci u pomenute dve baze uporedivi, odnosno vrednosti brzina utvrđenih u eksperimentalnim istraživanjima se mogu porediti sa vrednostima utvrđenim primenom modela.

Tabela 9.10 Rezultati t-testa

Red. br.	Parametar	Srednja vrednost baza "Crash" test	Srednja vrednost baza EES katalog	p vrednosti
1	intenzitet oštećenja vozila	10,7	11,2	0,619
2	najviše oštećenje na vozilu	11,5	11,3	0,763
3	brzina kretanja vozila u trenutku naleta	54,2	56,8	0,600

U narednoj tabeli su prikazane modelovane vrednosti daljine odbačaja tela pešaka primenom modela 8.1 i naletne brzine vozila primenom modela 9.2 sa podacima iz baze EES kataloga. Ujedno su prikazane i minimalne i maksimalne vrednosti brzine kretanja vozila, definisane za svaku slučaj iz EES kataloga.

Tabela 9.11 Testiranje modela za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku kontakta sa pešakom

h_o	I_o	S_{odb}^{mod} (m)	V_s^{mod} (km/h)	V_s^{EES} (km/h)		ΔV_s (km/h)	
				min	max	(km/h)	(%)
14	15	38,56	69,98	76	80	8,02	10,28
13	12	22,53	53,52	46	48	-6,52	-13,87
11	11	18,72	49,07	45	47	-3,07	-6,67
13	12	22,53	53,52	44	46	-8,52	-18,93
14	14	33,07	64,40	60	64	-2,40	-3,87
12	9	13,53	41,82	53	57	13,18	23,96
14	15	38,56	69,98	73	77	5,02	6,69
13	11	19,00	49,26	52	56	4,74	8,78
0	1	10,99	25,22	24	26	-0,22	-0,89
8	4	10,44	30,43	29	31	-0,43	-1,43
11	12	21,50	52,82	54	58	3,18	5,68
14	14	33,07	64,40	70	74	7,60	10,56
14	15	38,56	69,98	82	88	15,02	17,67
8	9	16,88	44,10	53	57	10,90	19,81
5	3	12,07	29,68	39	41	10,32	25,81
12	14	29,19	61,76	68	72	8,24	11,77
13	15	35,70	68,04	78	82	11,96	14,95
10	12	21,53	52,84	51	55	0,16	0,30
12	13	25,33	57,28	66	70	10,72	15,76

12	12	21,84	53,05	48	52	-3,05	-6,10
11	11	18,72	49,07	44	46	-4,07	-9,04
13	13	26,50	58,07	47	49	-10,07	-20,98
12	13	25,33	57,28	66	70	10,72	15,76

Gde je: h_o – najviše oštećenje na vozilu, I_o – intenzitet oštećenja vozila, S_{odb}^{mod} – daljina odbačaja pešaka, modelovana vrednost, V_s^{mod} – brzina kretanja vozila, modelovana vrednost, V_s^{EES} – brzina kretanja vozila prema EES katalogu, ΔV_s - relativna greška naletne brzine

Analizom rezultata testiranja modela, zaključuje se da je prosečna greška prilikom predikcije brzine kretanja vozila u trenutku naleta oko 6,9 km/h, odnosno oko 11,7% u odnosu na definisanu vrednost brzine kretanja. Potrebno je napomenuti da su u bazi EES kataloga ekvivalenti brzina dati u dijapazonu od minimalne do maksimalne vrednosti. Prilikom poređenja rezultata između modelovanih vrednosti i brzina vozila realizovanih u testovima, u obzir je uzeta aritmetička sredina između minimalne i maksimalne EES vrednosti. U slučaju da su se prilikom testiranja modela u obzir uzele granične vrednosti navedenih intervala, rezultati testa bi bili znatno bolji. U 14 od 23 analizirana slučaja modelovana vrednost je bila manja od stvarno realizovane, dok je u preostalih devet ona bila veća. Pored navedenog, očigledno je da se na osnovu EES kataloga definisani dijapazon ekvivalenta brzine može vezati samo za dva parametra, a to su visina oštećenja i intenzitet oštećenja na vozilu. Iz tog razloga, bilo je potrebno iskoristiti oba modela definisana u ovom radu, odnosno model za predikciju daljine odbačaja pešaka pri punom čeonom naletu i model za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka. Krajnji rezultat je brzina kretanja vozila, utvrđena na osnovu definisanog modela, zasnovana na intenzitetu oštećenja vozila i poziciji najvišeg oštećenja, koja je uporediva sa vrednostima naletnih brzina definisanih u okviru EES kataloga.

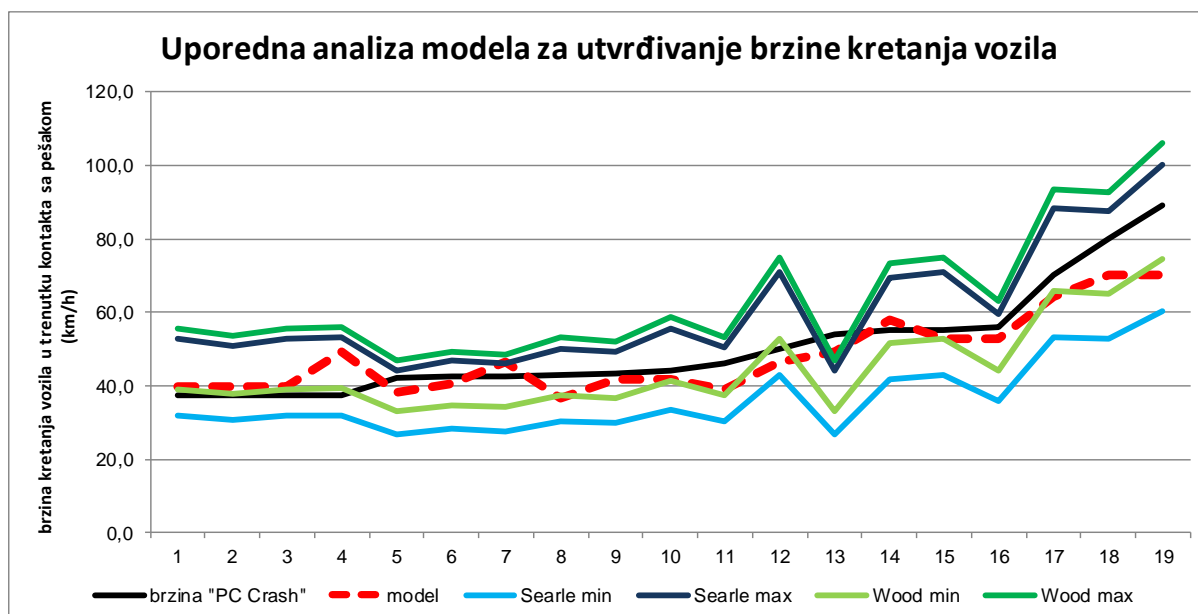
U cilju verifikacije definisanog modela, izvršena je i njegova uporedna analiza sa prethodno prikazanim empirijskim modelima za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta. Pri tome su najpre analizirani empirijski modeli 4.34 i 4.37, koje su definisali Searle ([Portal & Dias, 2008](#); [Searle & Searle, 1983](#)) i Wood ([T. Fugger et al., 2002](#)), u kojima je brzina vozila iskazana u dijapazonu od minimalne do maksimalne, a koji su zasnovani na daljini odbačaja pešaka. U ove izraze su uvrštene vrednosti daljine odbačaja tela pešaka utvrđene testovima na fizičkim modelima pešaka, a nakon toga je izvršeno njihovo poređenje sa brzinama izračunatim primenom uspostavljenog modela.

Rezultati uporedne analize su prikazani u tabeli 9.12 i slici 9.3. U najvećem delu, predikcija brzine primenom modela se uklapa u okvire minimalnih i maksimalnih vrednosti brzina kretanja vozila prema Searle-u i Wood-u. I pored činjenice da je u ovim modelima dijapazon između minimalne i maksimalne vrednosti naletne brzine relativno velik, predložen model za predikciju naletne brzine u najvećem delu prati trend realne brzine utvrđene testom, uz prosečnu grešku manju od 10%.

Tabela 9.12. Uporedna analiza rezultata modela, sa modelima koje su razvili Searle i Wood

Red. broj	$V_S^{PC\ Crash}$ (km/h)	S_{odb}^{mod}	V_S^{mod}		V_S^{Searle} (km/h)		V_S^{Wood} (km/h)	
			Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	min	max	min	max
1	54,0	18,70	49,0	-9,2	26,7	44,3	32,9	46,9
2	50,0	17,60	46,4	-7,2	42,7	71,0	52,7	75,0
3	37,4	13,05	39,6	5,9	31,7	52,6	39,1	55,7
4	37,4	13,05	39,6	5,9	30,5	50,7	37,6	53,6
5	37,4	13,05	39,6	5,9	31,7	52,6	39,1	55,7
6	37,4	18,72	49,0	31,1	32,0	53,1	39,4	56,2
7	55,0	26,50	58,0	5,5	41,9	69,5	51,6	73,5
8	46,0	12,19	39,0	-15,2	30,3	50,3	37,4	53,2
9	80,0	38,56	69,9	-12,6	52,8	87,6	65,0	92,6
10	70,0	33,07	64,3	-8,1	53,3	88,5	65,7	93,6
11	89,0	38,56	69,9	-21,4	60,4	100,3	74,5	106,1
12	43,0	13,77	36,4	-15,4	30,2	50,2	37,3	53,1
13	44,1	13,20	41,6	-5,8	33,6	55,7	41,4	58,9
14	42,5	14,08	40,3	-5,2	28,1	46,7	34,7	49,4
15	42,5	17,60	46,4	9,2	27,7	46,0	34,1	48,6
16	55,9	21,50	52,8	-5,6	35,8	59,5	44,2	62,9
17	55,1	21,50	52,8	-4,2	42,7	71,0	52,7	75,0
18	42,1	10,94	38,2	-9,3	26,7	44,3	32,9	46,9
19	43,5	13,20	41,6	-4,5	29,7	49,3	36,6	52,2

Gde je: $V_S^{PC\ Crash}$ - ostvarena brzina vozila prilikom ekperimentalnog istraživanja, S_{odb}^{mod} – modelovana vrednost daljine odbačaja tela pešaka, V_S^{mod} – modelovana vrednost brzine vozila, V_S^{Searle} - brzina vozila prema modelu Searle, V_S^{Wood} - brzina vozila prema modelu Wood



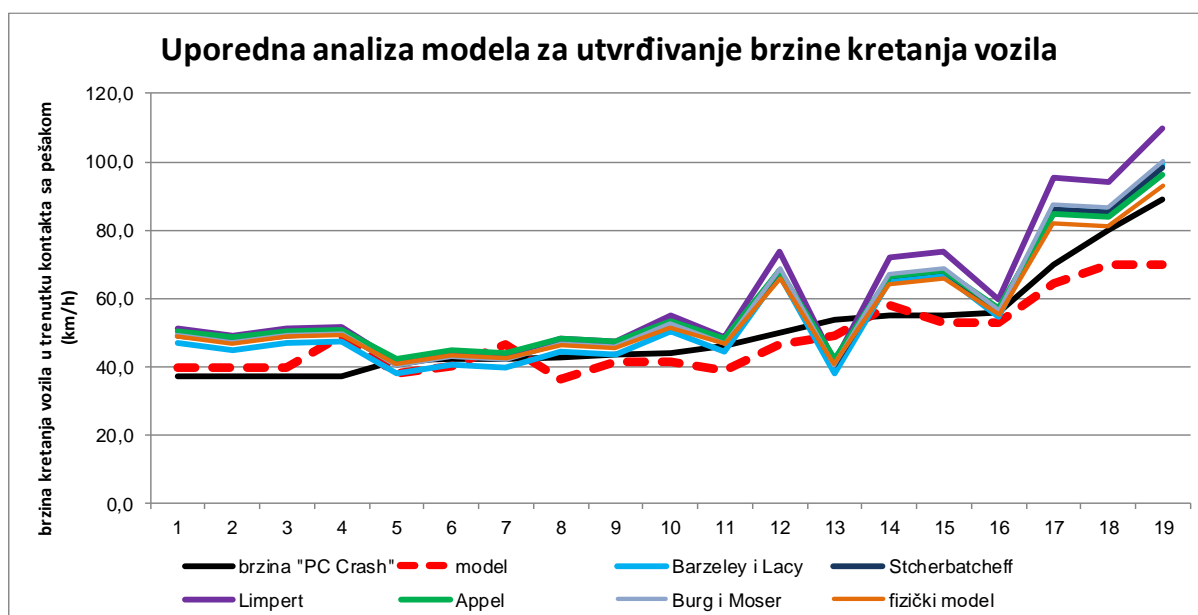
Slika 9.4. Uporedna analiza modela za utvrđivanje naletne brzine vozila, sa modelima Searle i Wood

Pored toga, izvršena je i verifikacija uspostavljenog modela poređenjem sa drugim empirijskim i fizičkim modelima, koji su uključeni u uporednu analizu u okviru poglavlja 4.3. Ovi modeli su u osnovi zasnovani na daljini odbačaja pešaka, dok je uspostavljeni model zasnovan na drugim parametrima, odnosno intenzitetu oštećenja i najvišeg oštećenja na vozilu. U tom smislu, modeli su neuporedivi, jer u njima figurišu različiti parametri. Međutim, uspostavljanje korelativne veze između daljine odbačaja tela pešaka i parametara koji figurišu u predloženom modelu za predikciju brzine (l_0 , h_0), pružaju mogućnost da se uporedna analiza sa ostalim modelima za predikciju naletne brzine vozila na pešaka ipak izvrši. U empirijske i fizičke izraze su uvrštene vrednosti daljina odbačaja tela pešaka utvrđene testovima na fizičkim modelima pešaka, a nakon toga je izvršeno njihovo poređenje sa brzinama izračunatim primenom uspostavljenog modela (jednačina 9.2). Rezultati analize prikazani su u tabeli 9.13 i slici 9.4.

Tabela 9.13. Uporedna analiza modela za utvrđivanje naletne brzine vozila, sa modelima koje su razvili Barzeley i Lacy, Stcherbatcheff, Limpert, Appel, Burg i Moser i fizičkog modela

Red. broj	$V_S^{PC\ Crash}$ (km/h)	V_S^{mod}		$V_S^{Barzeley}$		$V_S^{Stcher.}$		$V_S^{Limpert}$		V_S^{Appel}		V_S^{Moser}		$V_S^{fizički\ m.}$	
		Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)	Mod. vred. (km/h)	Rel. greška (%)
1	54,0	49,0	-9,2	38,1	-29,4	40,8	-24,4	41,3	-23,5	42,5	-21,3	40,5	-25,0	41,0	-24,0
2	50,0	46,4	-7,2	66,9	33,9	68,2	36,4	73,7	47,3	68,0	36,1	68,8	37,6	65,7	31,5
3	37,4	39,6	5,9	47,1	25,8	49,4	32,0	51,3	37,2	50,5	34,9	49,3	31,8	48,7	30,3
4	37,4	39,6	5,9	45,0	20,2	47,4	26,6	49,0	30,9	48,6	29,9	47,2	26,3	46,9	25,5
5	37,4	39,6	5,9	47,1	25,8	49,4	32,0	51,3	37,2	50,5	34,9	49,3	31,8	48,7	30,3
6	37,4	49,0	31,1	47,6	27,2	49,8	33,3	51,9	38,8	50,9	36,1	49,8	33,2	49,2	31,5
7	55,0	58,0	5,5	65,4	18,9	66,7	21,3	71,9	30,8	66,7	21,2	67,3	22,3	64,4	17,1
8	46,0	39,0	-15,2	44,6	-3,0	47,0	2,2	48,6	5,6	48,3	4,9	46,9	1,9	46,6	1,4
9	80,0	69,9	-12,6	85,1	6,4	85,3	6,6	94,1	17,6	84,0	5,0	86,5	8,1	81,1	1,4
10	70,0	64,3	-8,1	86,1	23,0	86,2	23,2	95,3	36,1	84,9	21,3	87,5	25,1	82,0	17,1
11	89,0	69,9	-21,4	99,1	11,3	98,4	10,6	109,8	23,4	96,2	8,1	100,2	12,5	93,0	4,4
12	43,0	36,4	-15,4	44,4	3,3	46,9	9,0	48,4	12,5	48,1	11,9	46,7	8,6	46,5	8,1
13	44,1	41,6	-5,8	50,4	14,3	52,5	19,1	55,1	24,9	53,4	21,1	52,6	19,3	51,6	17,0
14	42,5	40,3	-5,2	40,7	-4,2	43,3	1,9	44,2	4,0	44,8	5,4	43,0	1,3	43,3	1,8
15	42,5	46,4	9,2	39,9	-6,1	42,6	0,1	43,3	1,9	44,1	3,7	42,3	-0,5	42,6	0,2
16	55,9	52,8	-5,6	54,5	-2,5	56,4	0,9	59,7	6,8	57,1	2,1	56,6	1,3	55,1	-1,4
17	55,1	52,8	-4,2	66,9	21,5	68,2	23,7	73,7	33,7	68,0	23,5	68,8	24,9	65,7	19,3
18	42,1	38,2	-9,3	38,1	-9,4	40,8	-3,0	41,3	-1,9	42,5	0,9	40,5	-3,8	41,0	-2,5
19	43,5	41,6	-4,5	43,5	0,0	46,0	5,7	47,4	8,9	47,3	8,7	45,8	5,3	45,7	5,0

Gde je: $V_S^{PC\ Crash}$ - ostvarena brzina vozila prilikom ekperimentalnog istraživanja, $V_S^{Barzeley}$ - brzina vozila prema modelu Barzeley i Lacy, $V_S^{Stcher.}$ - brzina vozila prema modelu Stcherbatcheff, $V_S^{Limpert}$ - brzina vozila prema modelu Limpert, V_S^{Appel} - brzina vozila prema modelu Appel, V_S^{Moser} - brzina vozila prema modelu Moser i Burg, $V_S^{fizički\ m.}$ - brzina vozila prema fizičkom modelu



Slika 9.5. . Uporedna analiza modela za utvrđivanje naletne brzine vozila, sa modelima koje su razvili Barzeley i Lacy, Stcherbatcheff, Limpert, Appel, Burg i Moser i fizičkog model

Slika 9.5 potvrđuje zaključak koji je utvrđen u okviru poglavlja 4.3, gde je izvršena uporedna analiza postojećih modela za predikciju naletne brzine vozila. Uočava se značajno preklapanje postojećih modela, duž čitavog grafika. Međutim, naletna brzina vozila, ostvarena prilikom vršenja testova (na slici označena kao brzina "PC Crash") se ne poklapa u potpunosti sa postojećim modelima. Na slici je crvenom isprekidanom linijom prikazan konačan model ove disertacije.

Prosečna greška prilikom predikcije naletne brzine, primenom empirijskih modela, utvrđenih od strane Barzeley-a i Lacy-a, Stcherbatcheff-a, Appel-a i Burg i Moser-a, iznosi između 15 i 18%. Primenom Limpertovog modela, prosečna greška u predikciji naletne brzine, iznosila je 22%.

U opisu fizičkog modela (jednačina 4.32) je navedeno da prosečna greška prilikom predikcije naletne brzine iznosi 10%. Međutim, uporednom analizom rezultata ovog modela i naletne brzine vozila, koja je ostvarena prilikom eksperimentalnog istraživanja sa fizičkim modelima pešaka, dobija se prosečna greška oko 14%.

Primenom konačnog modela, opisanog u okviru disertacije (izraz 9.2), dobijaju se vrednosti naletne brzine vozila sa prosečnim odstupanjem manjim od 10%. Analizom slike 9.5, uočava se da je linija koja predstavlja rezultate primene modela ove disertacije, najbliža liniji koja prestavlja vrednosti naletnih brzina, kojima su se vozila kretala prilikom sprovođenja testa.

Na osnovu verifikacije modela na dva načina (testiranjem na podacima iz "EES" baze i uporednom analizom sa postojećim empirijskim modelima), dokazano je da model 9.2 ima dobre statističke pokazatelje i prikazuje prihvatljive rezultate u predikciji naletne brzine vozila. Istraživanjem u okviru ove disertacije, pokazano je da se predikcija naletne brzine vozila može izvršiti bez poznavanja mesta kontakta, odnosno daljine odbačaja pešaka i da postoji jaka korelacija između naletne brzine i inteziteta oštećenja vozila.

10. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Ispitivanje kinematičkih i dinamičkih karakteristika naleta vozila na pešake bilo je predmet većeg broja istraživanja od strane eksperata iz različitih oblasti, kao što su fizika, biomehanika, medicina, mašinsko i konstrukciono inženjerstvo, saobraćajno inženjerstvo, itd.. Smisao ovih istraživanja je u osnovi usmeren ka dva cilja. Prvi se odnosi na unapređenje elemenata pasivne bezbednosti na vozilu u cilju ublažavanja posledica saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka. Drugi cilj je uspostavljanje empirijsko-fizičkih zavisnosti između vozila i pešaka kod saobraćajnih nezgoda ovog tipa, kako bi se u postupku ekspertiza na što pouzdaniji način moglo utvrditi pod kojim okolnostima je do njih došlo.

Osnovne kinematičke parametre prilikom naleta vozila na pešaka čine brzina vozila u trenutku naleta i mesto naleta, odnosno daljina odbačaja tela pešaka. Gotovo sva dosadašnja istraživanja u ovoj oblasti su pokazala da između naletne brzine vozila i daljine odbačaja tela pešaka postoji snažna korelativna veza. Pored naletne brzine, najveći uticaj na kinematiku naleta imaju oblik karoserije vozila i visina pešaka. Opšte prihvaćenom klasifikacijom kretanja tela pešaka u odnosu na vozilo nakon naleta, identifikovano je pet karakterističnih trajektorija. U saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka, najučestaliji su naleti kod kojih se pešak u trenutku kontakta čitavom svojom figurom nalazi unutar gabarita vozila (potpuno čeonii naleti). Kod ovog tipa naleta, kada je vozilo kočeno, kao i kod nekočenih naleta manjim brzinama, telo pešaka se nakon sekundarnog kontakta odvaja od vozila i zaustavlja se ispred njegovog prednjeg dela ("wrap"). Kod ulaznih ili izlaznih delimično čeonih naleta, telo pešaka se nakon sekundarnog kontakta zaustavlja sa bočnih strana i iza zaustavljenog vozila ("fender vault"). Kod nekočenih naleta na pešaka, pri većim naletnim brzinama, glava pešaka ostvaruje sekundarni kontakt sa gornjim delom vetrobranskog stakla ili ivicom krova, tako da nakon sekundarne faze kontakta, vozilo prolazi ispod tela pešaka i zaustavlja se ispred njegove zaustavne pozicije ("roof vault"). Kod naleta na pešaka pri ekstremno velikim brzinama, dolazi do višestrukog okretanja tela pešaka oko težišne ose uz njegov istovremeni odbačaj unapred, ispred zaustavne pozicije vozila ("somersault"), dok kod naleta vozila sa sandučastim oblikom karoserije, zbog centra udara koji se nalazi iznad težišta pešaka, dolazi do njegovog odbačaja unapred, uz rotaciju u smeru kretanja kazaljke na satu, u kojoj se gornji deo tela odvaja od vozila ("forward projection").

Kao posledica razmene kinetičke energije između vozila i pešaka, na vozilu nastaju kontaktni tragovi i oštećenja, dok se na pešacima ove posledice manifestuju u vidu povreda. Praksa u oblasti ekspertiza saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka je pokazala da osnovne ulazne parametre za njihovu analizu, odnosno brzinu vozila u trenutku naleta, kao i mesto naleta u odnosu na zaustavnu poziciju pešaka (daljina odbačaja), često nije moguće pouzdano utvrditi. Iz tog razloga, došlo se na ideju da se predikcija naletne brzine vozila na pešaka može uspostaviti i bez poznavanja mesta kontakta, odnosno daljine odbačaja pešaka, kao i da između intenziteta oštećenja na vozilu i njegove brzine u trenutku naleta postoji visoka korelacija, što ujedno predstavlja polazne hipoteze ove doktorske teze.

Svetska zdravstvena organizacija (WHO) izvršila je gradaciju težina povreda učesnika saobraćajnih nezgoda, kako bi se na osnovu takvih kvalitativnih i delom kvantitativnih pokazatelja, mogli iskoristiti prethodni primeri iz stručne prakse za potrebe utvrđivanja pojedinih zavisnosti i preciziranje vrednosti uticajnih faktora. U tom smislu, uspostavljena je A/S skala, u kojoj su povrede nastale kod učesnika saobraćajnih nezgoda, u skladu sa njihovom težinom, kodirane određenim vrednostima. Za potrebe definisanja modela za predikciju naletne brzine vozila na pešaka na osnovu oštećenja, po ugledu na A/S skalu, uspostavljena je skala u kojoj su oštećenja na vozilu ocenjena vrednostima od 1-15. Pri tome su brojem 1 kodirana nevidljiva oštećenja u saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka, dok su brojem 15 kodirana oštećenja u vidu težih deformacija krova nastalih u sekundarnom kontaktu.

U cilju uspostavljanja modela za predikciju naletne brzine vozila na pešaka, najpre se pristupilo definisanju modela za predikciju daljine odbačaja pešaka na osnovu karakteristika oštećenja na vozilu. Ideja je bila da se ovako uspostavljen model iskoristi u definisanju konačnog modela za utvrđivanje naletne brzine, s obzirom da je između naletne brzine i daljine odbačaja tela pešaka dokazana jaka korelativna veza.

Za potrebe istraživanja, korišćene su tri baze podataka, od kojih je najznačajnija ekspertiska baza, posebno formirana za potrebe ovog rada, na osnovu višegodišnjih analiza realnih saobraćajnih nezgoda od strane ekspertskog tima Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. U ovoj bazi je izdvojena 171 saobraćajna nezgoda sa učešćem pešaka u kojima je postojala mogućnost utvrđivanja mesta naleta, naletne brzine vozila, kao i daljine odbačaja tela pešaka. Drugu bazu podataka su činili kataloški podaci o EES vrednostima, odnosno o ekvivalentima brzine utrošene na deformacioni rad vozila u saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka. Baza je sadržala podatke o EES vrednostima za 23 vozila i služila je za testiranje modela. Treću bazu čine podaci prikupljeni eksperimentalnim istraživanjima na fizičkim modelima pešaka ("crash" testovi), sadržani u okviru posebnog modula programskog paketa za simulaciju i rekonstrukciju saobraćajnih nezgoda PC CRASH 12.1. U ovoj bazi su sadržani podaci sa 19 testova na fizičkim modelima pešaka i ona je korišćena za validaciju modela.

Zbog nedovoljnog uzorka za analizu i posebnih specifičnosti u kinematici naleta, iz istraživanja su izuzeti naleti vozila na pešake pri brzinama većim od 80 km/h, kao i naleti vozila sa sandučastim oblikom karoserije.

U postupku uspostavljanja modela za predikciju daljine odbačaja pešaka na osnovu karakteristika oštećenja na vozilu, posebno su analizirani potpuno čeon, a posebno delimično

čeonih naleti. Izbor modela za predikciju daljine odbačaja tela pešaka, kod potpuno čeonih naleta, je izvršen na osnovu obrade uzorka od 115 realnih saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka, iz ekspertske baze podataka. Model za predikciju daljine odbačaja pešaka kod delimično čeonih naleta je uspostavljen na osnovu uzorka od 56 saobraćajnih nezgoda ovog tipa sadržanih u okviru ekspertske baze. Na osnovu uporedne analize između modelovanih i realnih vrednosti daljine odbačaja pešaka, za oba tipa naleta izvršeno je ispitivanje reziduala, pri čemu je utvrđeno da su oni ravnomerno raspoređeni oko "0", na osnovu čega je zaključeno da su izabrani modeli adekvatni.

Da bi se izvršila validacija nekog modela, neophodno je izvršiti njegovo testiranje. U konkretnom slučaju, izvršeno je poređenje modelovanih vrednosti daljine odbačaja pešaka i onih koje su utvrđene na osnovu rezultata eksperimentalnih istraživanja na fizičkim modelima pešaka, a koji su bili dostupni u okviru baze podataka "PC Crash". Model za daljinu odbačaja tela pešaka kod potpunih čeonih naleta je testiran na uzorku od 19 testova. Analiza je pokazala da je prosečna greška između modelovanih i eksperimentalnih vrednosti iznosi 21% i može se objasniti različitim stepenom čvrstoće između materijala od kog je sačinjen fizički model i ljudskog tela, ograničenjima u pokretima između fizičkog modela i tela čoveka, razlikama u visinama i masama između modela i pešaka, različitim koeficijentima trenja između tela, odnosno modela pešaka i podloge i sl. Imajući u vidu sve ove činjenice, kao i veličinu kontrolnog uzorka, greška između modelovanih i realnih vrednosti daljina odbačaja tela pešaka se može smatrati sasvim prihvatljivom. Pored toga, za validaciju modela korišćeni su i postojeći empirijski modeli za predikciju naletne brzine vozila. Vrednosti daljine odbačaja pešaka, utvrđene na osnovu karakteristika oštećenja na vozilu su unete u postojeće i najčešće primenjivane empirijske i fizičke modele za utvrđivanje naletne brzine vozila, te su te brzine poređene sa vrednostima naletne brzine koje su ostvarivane prilikom sprovođenja testova sa fizičkim modelima pešaka. Primenom postojećih empirijskih i fizičkih modela, utvrđeno je dobro slaganje sa naletnim brzinama iz "PC Crash" baze, sa prosečnim greškama oko 10%. Odabrani model za predikciju daljine odbačaja tela pešaka kod delimično čeonih naleta nije mogao biti testiran zbog nepostojanja adekvatne uporedne baze podataka. Iz tog razloga, ovaj model je ostao neispitan i dat je kao eventualna preporuka.

Cilj ove doktorske disertacije je bio da se pokuša uspostaviti određena zavisnost između parametara oštećenja na vozilu i njegove brzine prilikom naleta na pešaka. U tom smislu, model za predikciju brzine kretanja vozila u trenutku naleta na pešaka zasnovan je na uzorku od 19 testova naleta vozila na fizički model pešaka. Na osnovu višefaktorske regresione analize, utvrđeno je da su najznačajniji prediktorski faktori u modelu daljina odbačaja tela pešaka i intenzitet oštećenja na vozilu. Poređenjem modelovanih vrednosti sa realnim vrednostima naletne brzine vozila utvrđenih u eksperimentalnim istraživanjima, utvrđeno je da su reziduali ravnomerno raspoređeni oko "0", što upućuje na zaključak da je odabrani model adekvatan. Kako bi se izvršilo testiranje odabranog modela, a imajući u vidu cilj disertacije, da se omogući utvrđivanje naletne brzine vozila bez direktnog saznanja o daljini odbačaja tela pešaka, u model je uneta vrednost prethodno odabranog modela, u kome je daljina odbačaja tela pešaka izražena u funkciji parametara oštećenja na vozilu, odnosno intenziteta oštećenja (I_0) i najvišeg oštećenja na vozilu (h_0). Na taj način, uspostavljen je konačan model za predikciju naletne brzine vozila kod čeonih naleta na pešake, koji je nezavisan od daljine odbačaja tela pešaka. Testiranje modela je izvršeno poređenjem rezultata koji iz njega proizilaze sa "EES bazom" podataka, u kojoj su prikazana karakteristična oštećenja koja nastaju na vozilima u saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka, kao i

njihov intenzitet, Analizom je utvrđeno da prosečna greška između modelovanih vrednosti i vrednosti datih u EES katalogu iznosi 11,7%, pri čemu je u obzir uzeta srednja vrednost brzine iz naznačenog dijapazona. U slučaju da je za potrebe analize uzeta manja ili veća vrednost iz naznačenog dijapazona brzine u EES katalogu, bliža modelovanoj vrednosti, greška između modelovanih vrednosti i vrednosti iz "EES baze" bi bila znatno manja. Pored toga, izvršena je uporedna analiza vrednosti naletnih brzina utvrđenih na osnovu uspostavljenog modela sa brzinama vozila utvrđenih primenom empirijskih i fizičkih modela, koji su zasnovani na daljini odbačaja pešaka. Ova validacija je izvršena na osnovu podataka iz "PC Crash" baze. Vrednosti daljine odbačaja pešaka, utvrđene eksperimentalnim istraživanjima na fizičkim modelima pešaka su unete u postojeće i najčešće primenjivane empirijske i fizičke modele za utvrđivanje naletne brzine vozila, te su te brzine poređene sa vrednostima naletne brzine u skladu sa uspostavljenim modelom, u kome figurišu identični podaci vezani za karakteristike oštećenja. Neki od često citiranih autora (Wood, Searle,...) su empirijske modele za predikciju naletnih brzina vozila davali u dijapazonu od minimalnih do maksimalnih vrednosti. Modelovana vrednost za predikciju naletne brzine vozila na pešaka u okviru ovog rada, sadržana je u granicama empirijskih modela izraženih u vidu minimalnih i maksimalnih vrednosti i prati trend realne brzine utvrđene testom. Drugi autori su modele za predikciju naletne brzine vozila davali bez izjašnjavanja o eventualnim odstupanjima, a koja su kod svih empirijskih istraživanja sasvim očekivana. Predloženi model za predikciju naletne brzine vozila u funkciji oštećenja na njima je upoređen i sa ovim empirijskim modelima, zasnovanim na daljini odbačaja tela pešaka, pri čemu je između njih utvrđeno sasvim dobro slaganje, u kome je prosečna greška bila manja od 10%.

Ograničenja primene predloženog modela za predikciju naletne brzine vozila, nezavisnog od daljine odbačaja tela pešaka i zasnovanog na karakteristikama oštećenja na vozilu, odnose se na njegovu primenjivost pri brzinama manjim od 25 km/h, a većim od 80 km/h. Ova ograničenja proističu iz činjenica da pri brzinama manjim od minimalno navedene, odnosno brzinama većim od maksimalno navedene, nisu ni vršena ozbiljnija eksperimentalna istraživanja, tako da razvoj modela, u cilju približavanja navedenim graničnim vrednostima, nije ni bio moguć. Pored toga, pri naletnim brzinama manjim od 25 km/h, posebno kod novijih tipova vozila, postoji sasvim realna mogućnost da ni ne nastanu vidljiva oštećenja ili tragovi na vozilu, koji bi se mogli koristiti u modelu. Međutim, uzimajući u obzir činjenicu da se 70% saobraćajnih nezgoda tipa nalet vozila na pešaka dešava pri brzini vozila između 20 i 55 km/h, dok se 99,5% naleta na pešaka ostvaruje brzinom do 70 km/h, predloženi model ima široku upotrebu ([Gábor, 2004](#)).

Sprovedeno istraživanje i definisani modeli u okviru ove disertacije se mogu primeniti u ekspertizama realnih saobraćajnih nezgoda, kako bi se što tačnije definisale okolnosti vezane za njihov nastanak. Rezultati istraživanja se mogu smatrati univerzalnim, tako da primena modela nije limitirana na region.

LITERATURA

- Abbreviated Injury Scale (AIS)*. (2020). Association for the Advancement of Automotive Medicine.
- Akiyama, A., Yoshida, S., Matsushashi, T., Rangarajan, N., Shams, T., Ishikawa, H., & Konosu, A. (1999). Development of simulation model and pedestrian dummy. *SAE Technical Paper*, 01(0082), 1–9.
- Antić, B., Cvijan, M., & Ivanišević, T. (2014). Uticaj analize povreda pešaka i oštećenja vozila. *XIII Simpozijum "Veštačenje Saobraćajnih Nezgod i Prevare u Osiguranju,"* 285–312.
- Appel, H., Stürtz, G., & Behrens, S. (1976). Influence of front-end-design of passenger cars on injuries of pedestrians in car-to-pedestrian collisions. *Proceedings of the 1976 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact*, 33–43.
- Aquila, I., Di Nunzio, C., Paciello, O., Britti, D., Pepe, F., De Luca, E., & Ricci, P. (2014). An unusual pedestrian road trauma: From forensic pathology to forensic veterinary medicine. *Forensic Science International*, 234, e1–e4. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.08.024>
- Aronberg, R. (1990). Airborne trajectory analysis derivation for use in accident reconstruction. In *SAE International # 900367* (Vol. 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/900367>
- Aronberg, R., & Snider, A. A. (1994). Reconstruction of automobile/pedestrian accidents using catapult. In *SAE International #940924*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/940924>
- Ashton, S. J. (1981). Factors Associated with Pelvic and Knee Injuries in Pedestrians Struck by the Fronts of Cars. *Stapp Car Crash Conference*, 863–900. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ashton, S. J., Pedder, J. B., & Mackay, G. M. (1978). Pedestrian head injuries. *The Annals of the Advances in Automotive Medicine*, 237–244.
- Barzeley, M., & Lacy, G. W. (1978). *Scientific Automobile Accident Reconstruction*. Matthew Bender & Company Incorporated.
- Batista, M. (2008). A simple throw model for frontal vehicle-pedestrian collisions. *Promet-Traffic & Transportation*, 20(6), 357–368.

- Becke, M. (2007). Poor estimation of EES values and its consequences on the accuracy of reconstructions – Importance of EES crash tests. *EVU-Annual Meeting 2007*.
- Beirau, M. (2012). *Medizinische und technische Analyse realer Fußgängerunfälle*. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.
- Bhalla, K., Montazemi, P., Crandall, J., Yang, J., Liu, X., Dokko, Y., Takahashi, Y., Kikuchi, Y., & Longhitano, D. (2002). Vehicle impact velocity prediction from pedestrian throw distance: trade-offs between throw formulae, crash simulators, and detailed multi-body modeling. *International Research Council on Biomechanics of Injury*2.
- Bogdanović, V., Papić, Z., & Ruškić, N. (2009). Karakteristike delimičnih čeonih naleta na pešake. *VIII Simpozijum "Sudar Vozila i Pešaka,"* 177–190.
- Brach, R., & Brach, M. (2011). *Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods* (2 nd). SAE International. <https://doi.org/10.4271/R-397>
- Brooks, D., Wiechel, J., Sens, M., & Guenther, D. (1987). A Comprehensive Review of Pedestrian Impact Reconstruction. *SAE Technical Paper 870605*, 24. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/870605>
- Bull, J. P. (1985). Disabilities Caused by Road Traffic Accidents and Their Relation to Severity Scores. *Accident Analysis and Prevention*, 17(5), 387–397. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Burg, H., & Moser, A. (2007). *Handbuch Verkehrsunfall- rekonstruktion*. Springer Science+Business Media.
- Campbell, K. L. (1974). Energy basis for collision severity. *3 Th International Conference on Occupant Protection*.
- Cheng, Y., Wong, K., Tam, C., Tam, Y., Wong, T., & Tao, C. (2015). Validation of pedestrian throw equations by video footage of real life pedestrian / vehicle collisions. *Forensic Science International*, 257, 409–412. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.10.008>
- Čović, M., Hrgović, T., Jelić, I., Strinović, D., Škavić, J., & Zečević, D. (1987). *Vještačenja u cestovnom prometu* (Informator).
- Croskey, M., Dawson, P., Luessen, A., Marohn, I., & Wright, H. (1922). Height of the center of gravity in man. *American Journal of Physiology*, 61(1), 171–185. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1922.61.1.171>
- Davis, G. A. (2001). Relating Severity of Pedestrian Injury to Impact Speed in Vehicle-Pedestrian Crashes: Simple Threshold Model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1773(1), 108–113. <https://doi.org/https://doi.org/10.3141/1773-13>
- Devedžić, G., & Ćuković, S. (2016). *Bioinženjering skolioze*. Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu.
- Dima, D., Rusitoru, F., Soica, A., & Tarulescu, S. (2010). Experimental study of the vehicle-pedestrian collisions. *International Congress on Automotive and Transport Engineering*, 273–280.

- Dragač, R. (2007). *Uviđaj i veštačenje saobraćajnih nezgoda na putevima* (JP Službeni list SRJ (Ed.)).
- Elliott, J. R., Simms, C. K., & Wood, D. P. (2012). Pedestrian head translation, rotation and impact velocity: The influence of vehicle speed, pedestrian speed and pedestrian gait. *Accident Analysis and Prevention*, 45, 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.07.022>
- Eubanks, J., Hill, P. F., & Casteel, D. (2004). *Pedestrian Accident Reconstruction And Litigation*. Lawyers & Judges Pub Co.
- Eubanks, J. J., & Haight, W. R. (1992). Pedestrian involved traffic collision reconstruction methodology. *SAE Technical Paper # 921591*, 37–54. <https://doi.org/10.4271/921591>
- Everitt, B. S., & Skrondal, A. (2010). *Cambridge dictionary of statistics*. Cambridge University Press.
- Fazlić, S., & Đonlagić, S. (2016). Primjena faktorske analize u identificiranju dimenzija kvalitete visokoobrazovne usluge. *Poslovna Izvršnost*, 10(2), 45–72. <https://doi.org/658.56:378>
- Fernandes, F. A. O., Alves De Sousa, R. J., & Ptak, M. (2018). *Head Injury Simulation in Road Traffic Accidents* (Vol. 1). Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-89926-8>
- Field, J. (2003). *Getting it Right*.
- Fugger, T. F. J., Randles, B. C., Wobrock, J. L., & Eubanks, J. J. (2002). Pedestrian throw kinematics in forward projection collisions. *SAE Technical Papers*, 724. <https://doi.org/10.4271/2002-01-0019>
- Fugger, T., Randles, B. C., Wobrock, J., & Eubanks, J. (2002). Pedestrian Throw Kinematics in Forward Projection Collisions. In *SAE Technical Paper* (Ed.), *SAE 2002 World Congress & Exhibition* (p. 10). <https://doi.org/10.4271/2002-01-0019>
- Gábor, M. (2004). *Gépjárműszakértés* (Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft. (Ed.)).
- Gábor, M. (2005). *EES catalogue - EES Database*.
- Gennarelli, T. A., & Wodzin, E. (2006). A contemporary injury scale. *Injury*, 37(12), 1083–1091. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.injury.2006.07.009>
- Gimbretiere, J.-E., & Depriester, J.-P. (2003). Forensic Engineering & Road Accident Analysis - Review of Pedestrian Vehicle Accident Models. *Forensic Science International*, 136(1), 187–196. [https://doi.org/10.1016/s0379-0738\(03\)90018-1](https://doi.org/10.1016/s0379-0738(03)90018-1)
- Glynn, C., & Wood, D. P. (2015). Pedestrian Speed from Vehicle Damage. 24. *EVU Conference*, 7.
- Greenspan, L., McLellan, B. A., & Greig, H. (1985). Abbreviated injury scale and injury severity score: A scoring chart. *The Journal of Trauma*, 25(1), 60–64. <https://doi.org/10.1097/00005373-198501000-00010>
- Han, I., & Brach, R. M. (2001). Throw Model for Frontal Pedestrian Collisions. In *SAE 2001 World Congress* (p. 16). *SAE Technical Paper* 2001-01-0898. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/2001-01-0898>

- Happer, A., Araszewski, M., Toor, A., Overgaard, R., & Johal, R. (2000). Comprehensive Analysis Method for Vehicle/Pedestrian Collisions. *SAE 2000 World Congress*, 1–28.
- Hoxha, G., Shala, A., & Likaj, R. (2017). Pedestrian crash model for vehicle speed calculation at road accident. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(9), 1093–1099. <https://doi.org/http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp>
- Jain, S. S. L. (2004). Dangerous Instrumentality. *Cultural Anthropology*, 19(1), 61–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1525/can.2004.19.1.61>
- Jurčević Lulic, T., & Muftić, O. (2002). Trajectory of the human body mass centre during walking at different speed. In Design (Ed.), *7 th International Design Conference* (pp. 797–802).
- Karger, B., Teige, K., Bühren, W., & DuChesne, A. (2000). Relationship between impact velocity and injuries in fatal pedestrian- car collisions. *International Journal of Legal Medicine*, 113(2), 84–88. <https://doi.org/10.1007/PL00007714>
- Kostić, S. (2009a). *Ekspertize saobraćajnih nezgoda*. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.
- Kostić, S. (2009b). *Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja*. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.
- Kühnel, A. (1980). *Der fahrzeug-fußgänger-unfall und seine rekonstruktion. dissertation* (Technische).
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models* (Brent Gordon Executive (Ed.); Fifth Edit). McGraw-Hill/Irwin.
- Lesko, M. M., Woodford, M., White, L., O'Brien, S. J., Childs, C., & Lecky, F. E. (2010). Using Abbreviated Injury Scale (AIS) codes to classify Computed Tomography (CT) features in the Marshall System. *BMC Medical Research Methodology*, 10(72). <https://doi.org/10.1186/1471-2288-10-72>
- Limpert, R. (1999a). *Brake Design and Safety* (2nd ed.). SAE International.
- Limpert, R. (1999b). *Motor Vehicle Accident Reconstruction and Cause Analysis* (5th ed.). Lexis Publishing.
- Loftis, K. L., Price, J., & Gillich, P. J. (2018). Evolution of the Abbreviated Injury Scale: 1990–2015. *Traffic Injury Prevention*, 19(sup2), S109–S113. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1512747>
- Martin, J.-L., Lardy, A., & Laumon, B. (2011). Pedestrian Injury Patterns According to Car and Casualty Characteristics in France. *Annals of Advances in Automotive Medicine*, 55(October), 137–146.
- Martin, J. L., & Wu, D. (2018). Pedestrian fatality and impact speed squared: Cloglog modeling from French national data. *Traffic Injury Prevention*, 19(1), 94–101. <https://doi.org/10.1080/15389588.2017.1332408>
- Milošević, M., Savić, S., Matejić, S., Mihajlović, Z., & Jakšić, V. (2015). Mechanisms of injury of pedestrians in road traffic accidents. *Praxis Medica*, 44(4), 5–10. <https://doi.org/10.5937/pramed1504005M>

- Mitrović Simić, J. (2016). *Nivo usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima*. Univerzitet u Novom Sadu.
- Moffatt, C. A., Mitter, E. L., & Martinez, R. (1990). Pelvic fractures crash vehicle indicators. *Accident Analysis and Prevention*, 22(6), 561–569. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(90\)90028-J](https://doi.org/10.1016/0001-4575(90)90028-J)
- Morild, I., & Lilleng, P. K. (2012). Different Mechanisms of Decapitation: Three Classic and One Unique Case History. *Journal of Forensic Sciences*, 57(6), 1659–1664. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02191.x>
- Moser, A., Hoschopf, H., Steffan, H., & Kasanicky, G. (2000). Validation of the PC-Crash Pedestrian Model. *SAE Technical Paper*, 26. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/2000-01-0847>
- Nader, R. (1965). Unsafe at any speed: The designed-in dangers of the American automobile. In *Grossman Publishers*. <https://doi.org/10.2105/AJPH.101.2.254>
- Papić, Z., Stojiljković, G., & Bogdanović, V. (2009). Analiza saobraćajnih nezgoda tipa gaženje pešaka. *VIII Simpozijum "Sudar Vozila i Pešaka,"* 191–204.
- PC-Crash 12.1. (2019). *A Simulation program for Vehicle Accidents* (12.0; p. Operating Manual).
- Petrucelli, E., States, J. D., & Hames, L. N. (1981). The abbreviated injury scale: Evolution, usage and future adaptability. *Accident Analysis and Prevention*, 13(1), 29–35. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(81\)90040-3](https://doi.org/10.1016/0001-4575(81)90040-3)
- Petz, B. (1997). *Osnovne statističke metode za nematematičare* (VI). Naklada Slap.
- Portal, R. J. F., & Dias, J. M. P. (2008). Pedestrian Reconstruction Tools Applied to Pedestrian Accidents in Portugal. *3rd International Conference on ESAR "Expert Symposium on Accident Research,"* 304–314.
- Ratner, B. (2003). *Statistical Modeling and Analysis for Database Marketing: Effective Techniques for Mining Big Data*. Chapman & Hall/CRC.
- Ravani, B., Brougham, D., & Mason, R. T. (1981). Pedestrian Post-Impact Kinematics and Injury Patterns. *Proceedings of Twenty-Fifth Stapp Car Crash Conference*, 791–822.
- Rotim, F., & Peran, Z. (2011). *Forenzika prometnih nesreća*. Hrvatsko znanstveno društvo za promet.
- Saukko, P., & Knight, B. (2004). *Knight's Forensic Pathology* (Taylor&Francis Group (Ed.); 3rd ed.).
- Saulić, N., Papić, Z., & Ovcin, Z. (2020). Pedestrian throw distance prediction from vehicle damage intensity. *Promet – Traffic & Transportation*, 32(3), 371–382. <https://doi.org/10.7307/ptt.v32i3.3312>
- Savić, M. (2016). *Faktorska analiza*.
- Searle, J. A., & Searle, A. (1983). The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclists, etc. Following a Road Accident. *27th Stapp Car Crash Conference with IRCOBI and Child Injury and Restraint Conference with IRCOBI*, 277–286. <https://doi.org/10.4271/831622>

- Simms, C. K., Wood, D. P., & Walsh, D. G. (2004). Confidence limits for impact speed estimation from pedestrian projection distance. *International Journal of Crashworthiness*, 9(2), 219–228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/ijcr.2004.0283>
- Soica, A., & Tarulescu, S. (2016). Impact phase in frontal vehicle-pedestrian collisions. *International Journal of Automotive Technology*, 17(3), 387–397. <https://doi.org/10.1007/s12239-016-0040-y>
- Spek, A. (2017). Collaborative study on the estimation of EES-values. *EVU XXVI 2017* – 27.
- Stcherbatcheff, G., Tarriere, C., Duclos, P., & Fayon, A. (1975). Simulation of Collisions Between Pedestrians and Vehicles Using Adult and Child Dummies. *19th Stapp Car Crash Conference (1975)*, 33. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/751167>
- Stojiljković, G., Papić, Z., Bogdanović, V., Simeunović, M., Saulić, N., & Miljen, M. (2016). Unusual Response of Human Tissue under the Low Impact Force. *International Journal of Forensic Science & Pathology (IJFP)*, 4(10), 285–288. <https://doi.org/dx.doi.org/10.19070/2332-287X-1600066>
- Vujanić, M., Ivanišević, T., & Tešić, M. (2015). Vremensko-prostorna analiza saobraćajne nezgode - pristup. *XIV Simpozijum „Veštačenje Saobraćajnih Nezgoda i Prevare u Osiguranju“*, 47–60.
- Vujanić, M., Lipovac, K., Sredić, Z., Talijan, D., Cvijan, M., & Selman, S. (2000). *Saobraćajno-tehničko vještačenje i procjene šteta na vozilima*. Modul.
- Wherry, R. J. (1931). A new formula for predicting the shrinkage of the coefficient of multiple correlation. *The Annals of Mathematical Statistics*, 2(4), 440–457. <https://doi.org/https://doi.org/10.1214/aoms/1177732951>
- Wood, D. P. (1991). Application of a pedestrian impact model to the determination of impact speed. *International Congress & Exposition*, 27. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/910814>
- Wood, D. P., Elliott, J. R., Lyons, M., Augy, S., & Simms, C. K. (2013). Applications and limitations of wrap-around ratio to vehicle speed estimation in pedestrian collision analysis. *International Journal of Crashworthiness*, 18(3), 288–305. <https://doi.org/10.1080/13588265.2013.779155>
- Wood, D. P., & Simms, C. K. (2000). Coefficient of friction in pedestrian throw. *Institute of Traffic Accident Investigators*, 9(1), 12–14.
- Wood, D. P., Simms, C. K., & Walsh, D. G. (2005). Vehicle-pedestrian collisions: validated models for pedestrian impact and projection. *Journal of Automobile Engineering*, 219, 1–13. <https://doi.org/10.1243/095440705X6703>
- Xu, J., Li, Y., Lu, G., & Zhou, W. (2009). Reconstruction model of vehicle impact speed in pedestrian-vehicle accident. *International Journal of Impact Engineering*, 36(6), 783–788. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2008.11.008>
- Yuan, Q., Guo, R., & Li, Y. (2017). Connecting impact speed with wrap-around distance of pedestrian-vehicle accidents. *Advances in Automotive Engineering*, 1(1), 13–23. <https://doi.org/10.12989/aae.2017.1.1.013>
- Zou, T., Yu, Z., Cai, M., & Liu, J. (2011). Analysis and application of relationship between post-

braking-distance and throw distance in vehicle-pedestrian accident reconstruction.
Forensic Science International, 207(1–3), 135–144.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.09.019>

PRILOZI

PRILOG 1.

Razjašnjenje pojedinih koraka prilikom definisanja modela za određivanje brzine kretanja vozila u trenutku kontakta, zasnovanog na fizičkim zakonima

Razjašnjenje jednačine 4.22

Put klizanja tela pešaka po podlozi je definisan jednačinom 4.21 (strana 34):

$$s_2 = \frac{(V_x^+)^2}{2 \cdot \mu_p \cdot g}$$

Brzina tela pešaka neposredno nakon kontakta sa podlogom (V_x^+) je definisana jednačinom 4.14 (strana 33):

$$V_x^+ = V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta) - g \cdot \mu_p \cdot t_1$$

Vreme leta tela (t_1) definisano je jednačinom 4.9 (strana 32):

$$t_1 = \frac{V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{g}$$

Integracijom jednačine 4.9 i 4.14 u jednačinu 4.21, dobija se sledeći izraz:

$$s_2 = \frac{\left(V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta) - g \cdot \mu_p \cdot \frac{V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{g} \right)^2}{2 \cdot \mu_p \cdot g}$$

$$s_2 = \frac{V_p'^2 \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)^2}{2 \cdot \mu_p \cdot g} - \frac{2 \cdot \mu_p \cdot V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta) \cdot \left(V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} \right)}{2 \cdot \mu_p \cdot g}$$

$$+ \frac{\mu_p^2 \cdot \left(V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} \right)^2}{2 \cdot \mu_p \cdot g}$$

$$s_2 = \frac{V_p'^2 \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)^2}{2 \cdot \mu_p \cdot g}$$

$$- \frac{(2 \cdot \mu_p \cdot V_p' \cdot \cos \theta + 2 \cdot \mu_p^2 \cdot V_p' \cdot \sin \theta) \cdot \left(V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} \right)}{2 \cdot \mu_p \cdot g}$$

$$+ \frac{\mu_p^2 \cdot \left(V_p'^2 \cdot \sin^2 \theta + 2 \cdot V_p' \cdot \sin \theta \cdot \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} + (V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h \right)}{2 \cdot \mu_p \cdot g}$$

$$\begin{aligned}
s_2 &= \frac{V_p'^2 \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)^2}{2 \cdot \mu_p \cdot g} \\
&- \frac{(2 \cdot \mu_p \cdot V_p' \cdot \cos \theta + 2 \cdot \mu_p^2 \cdot V_p' \cdot \sin \theta) \cdot \left(V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} \right)}{2 \cdot \mu_p \cdot g} \\
&+ \frac{\mu_p^2 \cdot \left(V_p'^2 \cdot \sin^2 \theta + 2 \cdot V_p' \cdot \sin \theta \cdot \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} + (V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h \right)}{2 \cdot \mu_p \cdot g} \\
s_2 &= \frac{V_p'^2 \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)^2 - 2 \cdot \mu_p \cdot V_p'^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \mu_p \cdot V_p' \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{2 \cdot \mu_p \cdot g} \\
&- \frac{2 \cdot \mu_p^2 \cdot V_p'^2 \cdot \sin \theta - 2 \cdot \mu_p^2 \cdot V_p' \cdot \sin \theta \cdot \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{2 \cdot \mu_p \cdot g} \\
&+ \frac{\mu_p^2 \cdot V_p'^2 \cdot \sin^2 \theta + 2 \cdot \mu_p^2 \cdot V_p' \cdot \sin \theta \cdot \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} + \mu_p^2 \cdot V_p'^2 \cdot \sin \theta + 2 \cdot \mu_p^2 \cdot g \cdot h}{2 \cdot \mu_p \cdot g} \\
s_2 &= \frac{V_p'^2 \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot \mu_p^2 \cdot g \cdot h}{2 \cdot \mu_p \cdot g} \\
&- \frac{2 \cdot \mu_p \cdot V_p'^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + 2 \cdot \mu_p \cdot V_p' \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{2 \cdot \mu_p \cdot g}
\end{aligned}$$

Razjašnjenje jednačine 4.24

Ukupna daljina odbačaja tela pešaka se sastoji iz puta kontakta i transporta, puta leta i puta klizanja. To je prikazano jednačinom 4.23 (strana 34):

$$S_{odb} = s_0 + s_1 + s_2$$

Put leta tela pešaka je definisan jednačinom 4.11 (strana 32):

$$s_1 = \frac{V_p'^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + V_p' \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{g}$$

Put klizanja tela pešaka po podlozi je definisan jednačinom 4.22 (strana 34):

$$s_2 = \frac{\left(V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta) - \mu_p \cdot \left(V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} \right) \right)^2}{2 \cdot g \cdot \mu_p}$$

Integracijom jednačina 4.11 i 4.22 u okviru modela 4.23, dobija se sledeći izraz:

$$\begin{aligned}
 S_{odb} &= s_0 + \frac{V_p'^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + V_p' \cdot \cos \theta \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{g} \\
 &+ \frac{\left(V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta) - \mu_p \cdot \left(V_p' \cdot \sin \theta + \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h} \right) \right)^2}{2 \cdot g \cdot \mu_p} \\
 \\
 S_{odb} &= s_0 + \frac{2 \cdot \mu_p \cdot V_p'^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + 2 \cdot \mu_p \cdot V_p' \cdot \cos \theta \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{2 \cdot g \cdot \mu_p} \\
 &+ \frac{V_p'^2 \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)^2 - 2 \cdot \mu_p \cdot V_p'^2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \mu_p \cdot V_p' \cdot \cos \theta \sqrt{(V_p' \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h}}{2 \cdot g \cdot \mu_p} \\
 &+ \frac{2 \cdot g \cdot h \cdot \mu_p}{2 \cdot g \cdot \mu_p} \\
 \\
 S_{odb} &= s_0 + \frac{V_p'^2 \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)^2 + 2 \cdot g \cdot h \cdot \mu_p}{2 \cdot g \cdot \mu_p}
 \end{aligned}$$

Pojednostavljenjem prethodne jednačine, dobija se jednačina 4.24

$$S_{odb} = s_0 + \mu_p \cdot h + \frac{[V_p' \cdot (\cos \theta + \mu_p \cdot \sin \theta)]^2}{2 \cdot g \cdot \mu_p}$$

PRILOG 2.

Tabelarni prikaz podataka iz baze "Ekspert" – pun čeon nalet vozila na pešaka, sa modelovanim vrednostima daljine odbačaja, apsolutnim i relativnim greškama

Red ni broj	Oblik karoserije	Visina vozila (m)	Visina prednjeg dela vozila (m)	Pozicija najvišeg oštećenja	Režim kretanja vozila	Postojanje tragova kočenja	Intezitet oštećenja vozila	Visina pešaka (m)	Težište pešaka (m)	Pozicija pešaka u odnosu na vozilo	Odnos visine pešaka i visine prednjeg dela vozila	Ugao između vektora brzine kretanja vozila i pešaka	Daljina odbačaja pešaka (m)	Modelovana daljina odbačaja pešaka (m)	Apsolutna greška modela (m)		Relativna greška modela (%)	
1	1	1,41	0,75	9	2	1	5	1,53	0,86	1	2,04	3	11,40	10,33	-1,07	1,07	-9,38	9,38
2	6	1,64	1,01	10	3	1	5	1,81	0,98	1	1,79	1	17,20	9,33	-7,87	7,87	-45,76	45,76
3	3	1,38	0,75	10	1	0	8	1,70	0,95	4	2,27	0	21,30	13,04	-8,26	8,26	-38,77	38,77
4	3	1,46	0,76	12	1	0	11	1,66	0,93	2	2,18	3	13,70	18,71	5,01	5,01	36,53	36,53
5	1	1,38	0,72	12	3	1	11	1,75	0,98	1	2,43	3	16,20	18,71	2,51	2,51	15,46	15,46
6	3	1,32	0,68	7	3	1	5	1,56	0,85	1	2,29	3	5,40	12,52	7,12	7,12	131,86	131,86
7	4	1,71	0,92	11	1	0	10	1,76	0,96	2	1,91	2	16,00	16,23	0,23	0,23	1,43	1,43
8	3	1,43	0,75	8	3	1	5	1,63	0,89	1	2,17	3	3,20	11,39	8,19	8,19	256,05	256,05
9	1	1,40	0,68	12	1	0	12	1,57	0,85	1	2,31	3	33,00	21,84	-11,16	11,16	-33,81	33,81
10	1	1,46	0,73	8	1	0	4	1,62	0,88	2	2,22	4	10,90	10,43	-0,47	0,47	-4,31	4,31
11	1	1,44	0,83	14	2	1	14	1,92	1,08	4	2,31	0	28,00	33,11	5,11	5,11	18,24	18,24
12	4	1,33	0,78	11	1	0	12	1,73	0,97	2	2,22	2	10,20	21,50	11,30	11,30	110,80	110,80
13	3	1,38	0,75	13	2	1	14	1,93	1,08	1	2,57	3	23,00	30,91	7,91	7,91	34,39	34,39
14	1	1,40	0,77	13	2	0	13	1,74	0,97	1	2,26	3	23,80	26,51	2,71	2,71	11,40	11,40
15	1	1,41	0,77	13	3	1	14	1,75	0,98	1	2,27	3	45,70	30,91	-14,79	14,79	-32,36	32,36
16	1	1,40	0,77	13	3	1	14	1,71	0,93	2	2,22	3	35,00	30,91	-4,09	4,09	-11,69	11,69

17	3	1,41	0,74	7	3	1	5	1,30	0,71	1	1,76	3	22,40	12,52	-9,88	9,88	-44,11	44,11
18	1	1,37	0,81	10	2	0	13	1,60	0,87	1	1,98	3	23,20	24,28	1,08	1,08	4,64	4,64
19	3	1,43	0,75	12	1	0	12	1,79	0,97	2	2,39	3	18,30	21,84	3,54	3,54	19,35	19,35
20	1	1,44	0,83	8	3	1	8	1,56	0,85	1	1,88	2	11,30	15,25	3,95	3,95	34,99	34,99
21	3	1,38	0,75	9	2	1	12	1,77	0,99	5	2,35	0	30,30	21,91	-8,39	8,39	-27,68	27,68
22	3	1,39	0,78	11	2	1	13	1,77	0,99	1	2,26	3	34,80	24,60	-10,20	10,20	-29,32	29,32
23	3	1,41	0,74	10	3	1	7	1,62	0,88	2	2,19	2	11,90	11,55	-0,35	0,35	-2,92	2,92
24	3	1,38	0,75	13	2	1	14	1,77	0,99	1	2,35	3	36,60	30,91	-5,69	5,69	-15,55	15,55
25	1	1,36	0,75	7	3	1	5	1,75	0,98	1	2,33	3	8,15	12,52	4,37	4,37	53,62	53,62
26	1	1,43	0,72	10	1	0	10	1,60	0,87	2	2,22	3	18,70	16,78	-1,92	1,92	-10,27	10,27
27	3	1,41	0,77	14	3	1	14	1,71	0,96	1	2,22	3	20,80	33,11	12,31	12,31	59,17	59,17
28	3	1,40	0,70	11	3	1	8	1,77	0,99	5	2,52	7	12,70	12,18	-0,52	0,52	-4,11	4,11
29	3	1,38	0,76	9	3	1	5	1,76	0,99	5	2,32	3	10,00	10,33	0,33	0,33	3,30	3,30
30	3	1,45	0,72	11	3	1	11	1,75	0,98	2	2,43	3	12,80	18,71	5,91	5,91	46,19	46,19
31	3	1,46	0,76	12	3	1	12	1,76	0,99	1	2,32	3	14,10	21,84	7,74	7,74	54,91	54,91
32	1	1,46	0,73	10	2	1	12	1,58	0,86	1	2,16	3	19,80	21,52	1,72	1,72	8,71	8,71
33	3	1,39	0,78	8	2	1	10	1,76	0,99	3	2,26	5	12,30	18,63	6,33	6,33	51,50	51,50
34	1	1,37	0,81	8	2	1	4	1,63	0,89	1	2,01	3	6,80	10,43	3,63	3,63	53,38	53,38
35	3	1,39	0,78	10	3	1	8	1,59	0,86	2	2,04	3	10,00	13,04	3,04	3,04	30,42	30,42
36	1	1,37	0,81	8	2	1	11	1,55	0,84	1	1,91	4	17,30	20,57	3,27	3,27	18,89	18,89
37	1	1,37	0,81	13	1	0	14	1,56	0,85	2	1,92	3	29,50	30,91	1,41	1,41	4,78	4,78
38	3	1,40	0,72	11	1	0	11	1,58	0,86	3	2,19	6	24,40	18,71	-5,69	5,69	-23,31	23,31
39	3	1,40	0,84	10	2	1	7	1,66	0,90	3	1,98	6	13,80	11,55	-2,25	2,25	-16,29	16,29
40	7	1,80	0,72	14	3	1	15	1,96	1,10	1	2,72	4	41,00	38,60	-2,40	2,40	-5,86	5,86
41	3	1,38	0,72	10	1	0	1	1,64	0,89	1	2,28	3	10,50	7,91	-2,59	2,59	-24,63	24,63
42	3	1,40	0,70	12	1	0	11	1,70	0,95	2	2,43	2	12,60	18,71	6,11	6,11	48,45	48,45
43	1	1,43	0,84	8	1	0	3	1,77	0,99	4	2,11	1	9,30	9,63	0,33	0,33	3,53	3,53
44	3	1,41	0,70	12	1	0	11	1,76	0,99	2	2,52	2	14,40	18,71	4,31	4,31	29,90	29,90
45	1	1,43	0,81	13	1	0	7	1,70	0,95	1	2,10	4	20,80	9,10	-11,70	11,70	-56,25	56,25

46	3	1,39	0,78	13	1	0	14	1,77	0,99	3	2,26	5	17,50	30,91	13,41	13,41	76,62	76,62
47	1	1,36	1,05	13	1	0	14	1,87	1,05	4	1,78	0	28,80	30,91	2,11	2,11	7,32	7,32
48	1	1,46	0,73	10	3	1	10	1,70	0,95	1	2,33	2	20,60	16,78	-3,82	3,82	-18,55	18,55
49	1	1,46	0,73	12	3	1	11	1,76	0,99	2	2,41	3	14,10	18,71	4,61	4,61	32,66	32,66
50	3	1,51	0,78	10	1	0	8	1,61	0,87	2	2,06	3	23,00	13,04	-9,96	9,96	-43,30	43,30
51	3	1,42	0,72	11	3	1	11	1,63	0,89	2	2,27	3	17,40	18,71	1,31	1,31	7,54	7,54
52	1	1,41	0,75	10	3	1	7	1,62	0,88	1	2,16	2	19,30	11,55	-7,75	7,75	-40,14	40,14
53	1	1,44	0,74	10	3	1	8	1,63	0,89	3	2,20	6	9,50	13,04	3,54	3,54	37,28	37,28
54	3	1,34	0,79	11	1	0	11	1,63	0,89	2	2,06	3	13,55	18,71	5,16	5,16	38,10	38,10
55	1	1,40	0,77	8	3	1	3	1,62	0,88	2	2,11	3	2,10	9,63	7,53	7,53	358,48	358,48
56	1	1,46	0,73	12	3	1	12	1,62	0,88	3	2,21	6	22,80	21,84	-0,96	0,96	-4,20	4,20
57	1	1,42	0,70	11	3	1	7	1,72	0,93	1	2,46	3	7,70	10,61	2,91	2,91	37,80	37,80
58	1	1,38	0,72	11	1	0	8	1,62	0,88	1	2,25	3	13,50	12,18	-1,32	1,32	-9,79	9,79
59	3	1,42	0,78	0	3	1	1	1,56	0,85	2	2,00	3	7,20	10,99	3,79	3,79	52,60	52,60
60	1	1,43	0,74	12	2	1	13	1,64	0,89	2	2,22	3	29,50	25,34	-4,16	4,16	-14,10	14,10
61	3	1,38	0,75	8	1	0	5	1,71	0,96	5	2,28	0	15,70	11,39	-4,31	4,31	-27,43	27,43
62	3	1,43	0,75	14	2	1	14	1,64	0,92	4	2,19	1	34,30	33,11	-1,19	1,19	-3,47	3,47
63	3	1,42	0,72	11	1	0	12	1,64	0,89	1	2,28	3	23,10	21,50	-1,60	1,60	-6,92	6,92
64	3	1,39	0,78	11	2	1	11	1,76	0,99	4	2,26	0	16,40	18,71	2,31	2,31	14,10	14,10
65	6	1,70	0,99	10	1	0	9	1,63	0,89	2	1,65	4	22,70	14,78	-7,92	7,92	-34,87	34,87
66	5	1,41	0,77	10	2	0	12	1,63	0,89	1	2,12	3	17,00	21,52	4,52	4,52	26,62	26,62
67	1	1,46	0,81	14	2	1	14	1,77	0,99	2	2,19	3	30,10	33,11	3,01	3,01	9,99	9,99
68	1	1,42	0,70	14	2	1	14	1,72	0,96	2	2,46	3	25,00	33,11	8,11	8,11	32,43	32,43
69	1	1,40	0,68	12	2	1	13	1,69	0,95	1	2,49	3	34,00	25,34	-8,66	8,66	-25,47	25,47
70	3	1,38	0,76	10	1	0	13	1,67	0,94	1	2,20	3	32,10	24,28	-7,82	7,82	-24,37	24,37
71	3	1,39	0,78	10	1	0	12	1,32	0,74	2	1,69	3	35,00	21,52	-13,48	13,48	-38,50	38,50
72	1	1,35	0,76	10	3	1	7	1,56	0,85	2	2,05	4	16,20	11,55	-4,65	4,65	-28,69	28,69
73	3	1,34	0,81	8	1	0	10	1,61	0,87	2	1,99	3	10,30	18,63	8,33	8,33	80,92	80,92
74	3	1,39	0,78	7	1	0	6	1,63	0,89	1	2,09	3	7,00	13,76	6,76	6,76	96,53	96,53

75	3	1,39	0,78	11	1	0	15	1,77	0,99	2	2,27	3	30,30	31,70	1,40	1,40	4,62	4,62
76	1	1,37	0,81	11	1	0	13	1,63	0,89	4	2,01	0	36,40	24,60	-11,80	11,80	-32,43	32,43
77	1	1,48	0,78	10	2	0	12	1,57	0,85	4	2,01	1	20,90	21,52	0,62	0,62	2,99	2,99
78	1	1,40	0,77	12	2	1	11	1,63	0,91	1	2,12	3	15,50	18,71	3,21	3,21	20,68	20,68
79	1	1,37	0,81	11	1	0	12	1,92	1,08	1	2,37	3	11,40	21,50	10,10	10,10	88,61	88,61
80	1	1,36	0,75	10	1	0	12	1,56	0,85	1	2,08	3	19,40	21,52	2,12	2,12	10,95	10,95
81	3	1,42	0,77	12	3	1	12	1,87	1,05	1	2,43	2	15,40	21,84	6,44	6,44	41,83	41,83
82	3	1,38	0,75	13	3	1	13	1,57	0,85	1	2,09	3	34,40	26,51	-7,89	7,89	-22,92	22,92
83	1	1,38	0,72	13	1	0	14	1,76	0,99	1	2,44	3	33,50	30,91	-2,59	2,59	-7,73	7,73
84	1	1,43	0,72	12	1	0	13	1,83	1,02	1	2,54	2	14,10	25,34	11,24	11,24	79,73	79,73
85	3	1,34	0,79	12	1	0	13	1,65	0,92	4	2,09	0	12,00	25,34	13,34	13,34	111,18	111,18
86	1	1,38	0,71	13	2	0	15	1,78	1,00	1	2,51	3	33,10	35,73	2,63	2,63	7,95	7,95
87	3	1,46	0,76	10	3	1	3	1,60	0,87	2	2,11	4	4,70	8,12	3,42	3,42	72,70	72,70
88	3	1,38	0,75	12	1	0	13	1,71	0,96	3	2,28	6	29,10	25,34	-3,76	3,76	-12,92	12,92
89	3	1,40	0,72	8	3	1	5	1,06	0,59	1	1,48	3	25,60	11,39	-14,21	14,21	-55,49	55,49
90	1	1,42	0,77	12	1	0	12	1,63	0,89	4	2,12	0	9,20	21,84	12,64	12,64	137,41	137,41
91	3	1,38	0,75	8	2	0	10	1,56	0,85	1	2,08	3	26,90	18,63	-8,27	8,27	-30,73	30,73
92	3	1,39	0,78	13	1	0	15	1,80	1,01	4	2,31	0	42,20	35,73	-6,47	6,47	-15,33	15,33
93	1	1,43	0,85	14	1	0	14	1,76	0,99	1	2,07	3	44,80	33,11	-11,69	11,69	-26,10	26,10
94	3	1,38	0,75	13	1	0	14	1,87	1,05	1	2,49	1	31,00	30,91	-0,09	0,09	-0,29	0,29
95	1	1,37	0,81	13	3	1	14	1,77	0,99	2	2,19	3	35,70	30,91	-4,79	4,79	-13,42	13,42
96	3	1,49	0,84	14	1	0	14	1,80	1,01	2	2,14	3	33,20	33,11	-0,09	0,09	-0,28	0,28
97	5	1,41	0,77	14	2	1	15	1,76	0,99	4	2,29	0	48,40	38,60	-9,80	9,80	-20,25	20,25
98	3	1,42	0,72	12	3	1	13	1,77	0,99	1	2,46	3	27,50	25,34	-2,16	2,16	-7,85	7,85
99	1	1,40	0,68	6	1	0	3	1,90	1,06	2	2,79	3	8,20	11,23	3,03	3,03	36,95	36,95
100	1	1,43	0,73	12	1	0	14	1,76	0,99	4	2,42	0	25,30	29,21	3,91	3,91	15,44	15,44
101	3	1,41	0,74	11	3	1	9	1,59	0,86	1	2,15	3	11,50	14,05	2,55	2,55	22,18	22,18
102	3	1,40	0,72	12	1	0	14	1,67	0,94	4	2,32	0	41,20	29,21	-11,99	11,99	-29,11	29,11
103	3	1,39	0,78	11	2	0	11	1,67	0,94	1	2,14	3	12,70	18,71	6,01	6,01	47,34	47,34

104	1	1,44	0,89	11	2	1	8	1,62	0,88	3	1,82	6	20,00	12,18	-7,82	7,82	-39,11	39,11
105	1	1,37	0,81	9	1	0	15	1,80	1,01	4	2,22	0	28,00	29,94	1,94	1,94	6,94	6,94
106	3	1,40	0,72	12	2	0	13	1,61	0,87	3	2,24	6	16,50	25,34	8,84	8,84	53,59	53,59
107	7	1,37	0,81	11	2	0	12	1,62	0,88	2	2,00	3	10,10	21,50	11,40	11,40	112,89	112,89
108	1	1,48	0,78	12	3	1	12	1,40	0,78	1	1,79	3	36,00	21,84	-14,16	14,16	-39,33	39,33
109	3	1,38	0,75	11	3	1	11	1,56	0,85	1	2,08	3	13,30	18,71	5,41	5,41	40,70	40,70
110	1	1,43	0,85	8	2	0	5	1,66	0,93	1	1,95	3	21,10	11,39	-9,71	9,71	-46,00	46,00
111	3	1,41	0,74	13	3	1	11	1,81	1,01	1	2,45	4	5,30	19,00	13,70	13,70	258,55	258,55
112	3	1,40	0,70	13	2	0	13	1,78	1,00	1	2,54	3	39,00	26,51	-12,49	12,49	-32,02	32,02
113	1	1,46	0,73	13	2	1	12	1,56	0,85	1	2,14	3	33,00	22,55	-10,45	10,45	-31,68	31,68
114	1	1,45	0,85	14	2	0	14	1,89	1,06	3	2,22	6	24,80	33,11	8,31	8,31	33,50	33,50
115	1	1,37	0,81	13	2	1	13	1,63	0,89	1	2,01	3	28,50	26,51	-1,99	1,99	-6,97	6,97

Tabelarni prikaz podataka iz baze "Ekspert" – delimičan ulazni ili izlazni nalet vozila na pešaka, sa modelovanim vrednostima daljine odbačaja, apsolutnim i relativnim greškama

Red ni broj	Oblik karoserije	Visina vozila (m)	Visina prednjeg dela vozila (m)	Pozicija najvišeg oštećenja	Režim kretanja vozila	Postojanje tragova kočenja	Intezitet oštećenja vozila	Visina pešaka (m)	Težište pešaka (m)	Pozicija pešaka u odnosu na vozilo	Odnos visine pešaka i visine prednjeg dela vozila	Ugao između vektora brzine kretanja vozila i pešaka	Dajina odbačaja pešaka (m)	Modelovana dajina odbačaja pešaka (m)	Apsolutna greška modela (m)		Relativna greška modela (%)	
1	3	1,39	0,78	7	1	0	2	1,56	0,85	2	2,00	1	1,90	6,95	-5,05	5,05	-265,89	265,89
2	1	1,42	0,70	3	1	0	2	1,73	0,97	1	2,47	3	8,00	6,69	1,31	1,31	16,34	16,34
3	1	1,40	0,68	7	2	1	5	1,77	0,99	2	2,60	2	12,10	11,62	0,48	0,48	3,93	3,93
4	3	1,39	0,78	8	2	1	5	1,67	0,91	1	2,14	3	18,70	8,01	10,69	10,69	57,15	57,15
5	1	1,43	0,77	12	3	1	11	1,66	0,90	1	2,16	2	12,00	17,74	-5,74	5,74	-47,82	47,82
6	4	1,68	0,91	9	2	1	3	1,75	0,98	2	1,92	1	7,10	2,77	4,33	4,33	61,02	61,02
7	3	1,38	0,75	12	3	1	7	1,62	0,88	1	2,15	3	12,90	14,13	-1,23	1,23	-9,55	9,55
8	1	1,44	0,85	12	2	0	11	1,74	0,97	4	2,04	0	7,20	13,09	-5,89	5,89	-81,80	81,80
9	1	1,41	0,75	11	3	1	7	1,64	0,92	2	2,19	2	12,00	13,04	-1,04	1,04	-8,66	8,66
10	1	1,37	0,81	0	1	0	1	1,63	0,89	2	2,01	3	5,40	4,10	1,30	1,30	24,07	24,07
11	3	1,42	0,77	9	1	0	3	1,77	0,99	1	2,29	3	2,90	8,47	-5,57	5,57	-192,01	192,01
12	1	1,41	0,77	7	1	0	7	1,55	0,87	1	2,01	3	10,00	8,37	1,63	1,63	16,31	16,31
13	1	1,38	0,71	13	2	0	15	1,85	1,04	1	2,61	3	42,00	32,49	9,51	9,51	22,63	22,63
14	3	1,40	0,70	12	3	1	7	1,59	0,86	1	2,27	3	19,35	17,75	1,60	1,60	8,25	8,25
15	3	1,40	0,84	8	3	0	7	1,63	0,89	2	1,94	3	8,15	6,42	1,73	1,73	21,23	21,23
16	3	1,40	0,84	10	2	1	7	1,65	0,92	3	1,96	6	10,20	7,47	2,73	2,73	26,81	26,81

17	1	1,39	0,88	8	1	0	1	1,64	0,89	3	1,86	5	5,30	3,59	1,71	1,71	32,29	32,29
18	1	1,37	0,81	7	2	1	1	1,77	0,99	4	2,18	1	10,10	5,83	4,27	4,27	42,29	42,29
19	1	1,37	0,81	11	2	0	11	1,76	0,99	1	2,18	3	6,15	13,73	-7,58	7,58	-123,31	123,31
20	1	1,43	0,73	11	3	1	1	1,77	0,99	1	2,42	3	15,20	11,55	3,65	3,65	23,98	23,98
21	1	1,43	0,70	7	1	0	1	1,70	0,95	2	2,43	3	5,40	10,13	-4,73	4,73	-87,65	87,65
22	3	1,42	0,76	14	3	1	14	1,72	0,96	1	2,26	3	23,00	29,36	-6,36	6,36	-27,66	27,66
23	3	1,40	0,72	14	2	1	8	1,78	1,00	2	2,47	2	24,50	20,32	4,18	4,18	17,07	17,07
24	1	1,37	0,81	7	2	0	1	1,73	0,97	5	2,14	3	2,66	5,83	-3,17	3,17	-119,11	119,11
25	3	1,39	0,78	10	1	0	8	1,37	0,74	1	1,76	3	25,30	11,08	14,22	14,22	56,20	56,20
26	3	1,43	0,75	10	2	1	3	1,71	0,96	1	2,28	7	3,10	10,09	-6,99	6,99	-225,62	225,62
27	4	1,44	0,78	11	3	1	12	1,62	0,88	1	2,08	3	9,90	16,71	-6,81	6,81	-68,80	68,80
28	3	1,39	0,78	4	1	0	3	1,70	0,95	1	2,18	3	2,70	5,74	-3,04	3,04	-112,77	112,77
29	3	1,38	0,75	0	1	0	1	1,75	0,98	2	2,33	3	2,56	4,10	-1,54	1,54	-60,16	60,16
30	3	1,38	0,75	0	3	1	1	1,13	0,61	2	1,50	3	13,00	4,10	8,90	8,90	68,46	68,46
31	1	1,42	0,73	12	1	0	11	1,77	0,99	2	2,42	4	19,30	20,45	-1,15	1,15	-5,94	5,94
32	3	1,42	0,72	14	2	1	14	1,67	0,94	2	2,32	3	40,20	32,61	7,59	7,59	18,89	18,89
33	1	1,38	0,80	8	1	0	10	1,80	1,01	5	2,25	1	8,00	9,48	-1,48	1,48	-18,50	18,50
34	3	1,39	0,78	10	1	0	12	1,32	0,74	2	1,69	3	20,30	14,88	5,42	5,42	26,69	26,69
35	3	1,42	0,76	12	2	1	8	1,62	0,88	1	2,13	1	20,90	14,49	6,41	6,41	30,67	30,67
36	1	1,41	0,73	10	2	1	8	1,62	0,88	2	2,21	3	21,50	13,86	7,64	7,64	35,51	35,51
37	3	1,38	0,72	11	2	1	12	1,71	0,96	1	2,37	3	17,00	20,44	-3,44	3,44	-20,22	20,22
38	1	1,41	0,73	12	3	1	11	1,88	1,05	1	2,58	7	13,80	20,45	-6,65	6,65	-48,16	48,16
39	3	1,40	0,72	12	1	0	12	1,65	0,90	2	2,29	4	14,90	22,74	-7,84	7,84	-52,64	52,64
40	3	1,46	0,76	8	1	0	9	1,28	0,70	2	1,68	1	8,40	10,57	-2,17	2,17	-25,84	25,84
41	3	1,43	0,75	0	2	0	2	1,32	0,74	2	1,75	3	1,40	4,10	-2,70	2,70	-192,86	192,86
42	1	1,43	0,73	12	2	0	13	1,52	0,83	4	2,08	1	19,20	23,73	-4,53	4,53	-23,59	23,59
43	3	1,39	0,78	11	2	1	12	1,63	0,89	1	2,09	3	16,00	16,71	-0,71	0,71	-4,45	4,45
44	1	1,37	0,81	12	1	0	13	1,77	0,99	2	2,18	3	13,50	18,58	-5,08	5,08	-37,65	37,65
45	3	1,41	0,74	6	1	0	2	1,71	0,96	1	2,31	3	2,50	7,85	-5,35	5,35	-214,04	214,04

46	1	1,43	0,77	11	2	1	8	1,52	0,83	2	1,97	2	12,70	12,69	0,01	0,01	0,05	0,05
47	4	1,83	0,89	12	1	0	10	1,76	0,99	2	1,98	3	13,60	9,64	3,96	3,96	29,11	29,11
48	3	1,39	0,78	13	1	0	14	1,71	0,96	2	2,19	7	44,00	24,96	19,04	19,04	43,28	43,28
49	1	1,37	0,81	3	1	0	3	1,62	0,88	4	2,00	0	2,90	4,87	-1,97	1,97	-67,90	67,90
50	1	1,43	0,70	0	3	1	1	1,77	0,99	1	2,53	3	2,60	4,10	-1,50	1,50	-57,69	57,69
51	1	1,37	0,81	12	1	0	12	1,72	0,96	2	2,12	3	9,40	16,87	-7,47	7,47	-79,50	79,50
52	1	1,43	0,70	12	3	0	12	1,59	0,86	2	2,27	3	14,00	24,25	-10,25	10,25	-73,23	73,23
53	3	1,41	0,74	10	1	0	7	1,92	1,08	4	2,59	0	7,60	12,57	-4,97	4,97	-65,33	65,33
54	3	1,42	0,72	10	2	0	3	1,45	0,78	2	2,01	3	24,50	11,86	12,64	12,64	51,61	51,61
55	3	1,42	0,78	10	3	1	8	1,56	0,85	1	2,00	3	11,70	11,08	0,62	0,62	5,29	5,29
56	1	1,46	0,84	11	1	0	7	1,73	0,97	3	2,06	6	4,25	8,06	-3,81	3,81	-89,60	89,60

PRILOG 3.

Potrebne komande u okviru programskog paketa Matlab, prilikom sprovođenja eksploratorne faktorske analize

```
parametri = csvread('Baza FTN eksperti.csv',1,1,[1,1,193,14]);  
  
any(isnan(parametri),2);  
  
parametri=parametri(~any(isnan(parametri),2),:);  
  
  
broj_prom = size(parametri,2);  
  
  
izlazi = factoran(parametri,2,'rotate','promax');  
  
  
biplot(izlazi,'varlabels',num2str((1:broj_prom)));  
  
title('Promax rotate, expert base biplot all factors');  
  
xlabel('Latent Factor 1'); ylabel('Latent Factor 2');  
  
  
print(gcf,'-depsec','Expert baza');  
  
print(gcf,'-dmeta','Expert baza');  
  
  
parametri = parametri(:,[4,7,8,11,12,14]);  
  
  
izlazi = factoran(parametri,2,'rotate','promax');  
  
biplot(izlazi([1,2,4,6],:), 'varlabels',num2str([4,7,11,14]),'Color','red');  
  
xlabel('Latent Factor 1'); ylabel('Latent Factor 2');  
  
hold on;  
  
biplot(izlazi([3,5],:), 'varlabels',num2str([8,12]),'Color','blue');  
  
hold off;  
  
title('Promax rotate, expert base biplot selected factors');  
  
xlabel('Latent Factor 1'); ylabel('Latent Factor 2');
```

```
print(gcf, '-depsec', 'Expert baza selected');
```

```
print(gcf, '-dmeta', 'Expert baza selected');
```


Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Оштећења на возилу као индикатор сударних брзина код налета на пешака
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за саобраћај
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
<p>Докторске академске студије, Студијски програм: Саобраћај, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду;</p> <p>Пројекат у оквиру ког је рађен највећи део истраживања је “Модел интеграције транспортних система“ (ТР 36024).</p>
1. Опис података
<p>1.1 Врста студије</p> <p>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</p> <p><u>Докторска дисертација</u></p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>1.2 Врсте података</p> <p><input checked="" type="radio"/> а) квантитативни</p> <p><input type="radio"/> б) квалитативни</p> <p>1.3. Начин прикупљања података</p> <p>а) анкете, упитници, тестови</p>

- б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи
- в) генотипови: навести врсту _____
- г) административни подаци: навести врсту статистички подаци
- д) узорци ткива: навести врсту _____
- ђ) снимци, фотографије: навести врсту фотографије
- е) текст, навести врсту литературни извори
- ж) мапа, навести врсту _____
- з) остало: описати: експерименти у оквиру програмског пакета PC Crash 12.0 и EES каталога

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- а) Excel фајл, датотека .xlsx
- б) SPSS фајл, датотека _____
- в) PDF фајл, датотека _____
- г) Текст фајл, датотека .docx
- д) JPG фајл, датотека .jpg
- е) Остало, датотека _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- а) број варијабли велики број
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) велики број

1.3.3. Поновљена мерења

- а) да
- б) **не**

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) временски размак измедју поновљених мера је _____
- б) варијабле које се више пута мере односе се на _____
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

☒ а) Да

☐ б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

☒ а) експеримент, навести тип експерименти се налазе у оквиру програмског пакета PC Crash 12.0 и EES каталога

☐ б) корелационо истраживање, навести тип _____

☒ ц) анализа текста, навести тип прикупљање података анализом доступне литературе

☐ д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да ☒ Не

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? _____

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Квалитет података је контролисан непосредним увидом у резултате експеримената.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Контрола уноса података у матрицу извршена је унакрсним поређењем појединачних и сумарних вредности у матрици са вредностима из иницијалне базе података.

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у **репозиторијум докторских дисертација на Универзитету у Новом Саду.**

3.1.2. URL адреса <https://www.cris.uns.ac.rs/searchDissertations.jsf>

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

- ☒ а) **Да**
- б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____
- в) **Не**

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? _____

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? _____

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да ☒ Не

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да ☒ Не

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да ☒ Не

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да ☒ Не

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да ☒ Не

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
- б) Подаци су анонимизирани
- ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

☒ а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Ненад Саулић, мејл адреса: n.saulic@uns.ac.rs

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Ненад Саулић, мејл адреса: n.saulic@uns.ac.rs

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Ненад Саулић, мејл адреса: n.saulic@uns.ac.rs